

**HÄRKÄPAVUN KORJUUN JA SÄILÖNNÄN OPTIMOINTI:  
KOKOVILJASÄILÖREHUN KORJUUN AJOITTAMINEN JA  
SÄILÖNTÄAINEEN VAIKUTUS MURSKESÄILÖTTYIHIN  
PAPUIHIN**

Tea Niemi  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden osasto  
Kotieläintiede  
Toukokuu 2018

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty<br>Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta   |  | Laitos — Institution — Department<br>Maataloustieteiden osasto |   |
| Tekijä — Författare — Author<br>Tea Niemi  |  |  |   |
| Työn nimi — Arbetets titel — Title<br>Härkäpavun ( <i>Vicia faba</i> L.) korjuun ja säilönnän optimointi: Kokoviljasäilörehun korjuun ajoittaminen ja säilöntäaineen vaikutus murskesäilötyihin papuihin   |  |  |   |
| Oppiaine — Läroämne — Subject<br>Kotieläinten ravitsemustiede  |  |  |   |
| Työn laji — Arbetets art — Level<br>Maisterintutkielma   |  | Aika — Datum — Month and year<br>Toukokuu 2018                 | Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages<br>68 sivua |
| <p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Tutkielma on osa Hämeen Ammattikorkeakoulun (HAMK) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) toteuttamaa Valkuaisfoorumi-hanketta. Valkuaiskasvien kilpailukyyn ja käytettävyyden parantamiseksi etsitään keinoja hyödyntää valkuaiskasveja märehitijöiden ja yksimahaisten ravitsemuksessa. Härkäpavun kysyntä elintarvikkeena ja rehuraaka-aineena on kasvussa. Tutkielman tavoitteena oli tarkastella härkäpavun ominaisuuksia viljelykasvina ja etsiä ratkaisuja härkäpavun viljelyssä ja rehuraaka-ainekäytössä havaittuihin käyttöä rajoittaviin tekijöihin. Tutkielmassa oli kaksi osatavoitetta, joita selvitettiin tarkemmin kahden eri kokeen avulla.</p> <p>Kokeessa 1 määritettiin kokoviljahärkäpavulle optimaalinen korjuuaika. Kasvuston kehitystä havainnoitiin ja kasvustonäytteistä analysoitiin rehun ravintoainepitoisuuksia. Tutkimuksessa käytettiin kolmea eri härkäpapulajiketta, Honey, Fanfare ja Pyramid, joista kerättiin kahden viikon välein korjuuaikanäytteet. Kokeessa 2 verrattiin eri säilöntäaineiden (maitohappobakteerien seos (LABLuke), maitohappobakteerien seos + ksyylaani (LABmix), LABmix + vesi, sekä muura-haishappopohjaisen (FA) ja natriumnitriittiä sisältävän antimikrobisen kemiallisen säilöntäaineen (AKS)) vaikutusta murskesäilötyän härkäpavun rehuarvoihin, käymislaatuun, aerobiseen stabiilisuuteen sekä haitta-ainepitoisuuksiin. Eri säilöntäaineilla säilöttyä härkäpapumursketta verrattiin ilman säilöntäainetta säilöttyyn papumurskeeseen (kontrolli ja kontrolli + vesi). Säilöntäaineet perustuivat maitohappokäymistä edistäviin tai käymistä rajoittaviin ainesosiin.</p> <p>Kokoviljahärkäpavulle optimaalinen korjuuaika oli silloin, kun palot olivat täyttymässä, mutta kasvusto ei ollut ehtinyt vielä ränsistymään (n. 80–100 vrk kylvöstä, D-arvo n. 600 g/kg kuiva-ainetta (ka), ka n. 145–160 g/kg). Lisääntyvä vihermassa kasvuston kehittyessä lisäsi kuiva-ainesatoa, mutta korjuuta ei ole syytä venyttää liian pitkälle syksyyn, sillä määrät korjuuolosuhteet lisäävät korjuutappioita ja riskiä rehun virheikäymiselle. Lajikkeeksi kannattaa valita vehreä suuren kuiva-ainesadon tuottava varhainen lajike, kuten tämän kokeen Fanfare ja Pyramid-lajikkeet.</p> <p>Säilöntäaineen lisäys härkäpapumurskeeseen paransi rehun säilönnällistä laatua. Murskesäilöntä pienensi rehun viisi- ja konvisiinipitoisuuksia kaikilla käsittelyillä. Tanniinipitoisuus vaihteli eri käsittelyillä ja oli pienin AKS-säilönnällä. Kokeen härkäpapumurske oli kosteaa erityisesti niillä käsittelyillä, joihin sisältyi vesilisäys (tuore härkäpapumurske ka 557 g/kg, säilötty ka 505–572 g/kg ka). Eri säilöntäaineilla pystyttiin vaikuttamaan eri ominaisuuksiin rehussa. Maitohappobakteeripohjaiset säilöntäaineet edistivät härkäpapumurskeen maitohappobakteerikäymistä ja rehut sisälsivät vähän haittamikrobeja. Muura-haishappopohjaisella säilöntäaineella säilötty rehun käyminen oli rajoittunutta ja käymistappiot olivat vähäiset. AKS-säilötty härkäpapumurske ei lämmennyt yli raja-arvon (+2°C ympäristön lämpötilan yläpuolella) mittaussjakson (210 h) aikana. Härkäpapumurskeen säilöntä mahdollistaa rehun pitkän korjuuajan. Rehu voidaan korjata kosteana ja papuja ei tarvitse kuivata. Säilöntäainelisäys parantaa härkäpapumurskeen säilönnällistä laatua ja murskesäilöntä pienentää rehujen viisi- ja konvisiinipitoisuuksia tuoreeseen härkäpapumurskeeseen verrattuna.</p> |  |  |   |
| Avainsanat — Nyckelord — Keywords<br>härkäpapu, korjuuaika, haitta-aine, kokovilja, murskesäilöntä, aerobinen stabiilisuus   |  |  |   |
| Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited<br>Maataloustieteiden osasto   |  |  |   |
| <p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>Tutkimus tehtiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Jokioisten toimipisteessä</p> <p>Ohjaajat: Yliopistonlehtori Seija Jaakkola (HY), dosentti Marketta Rinne (Luke), erikoistutkija Kaisa Kuoppala (Luke)</p>   |  |  |   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty<br>Faculty of Agriculture and Forestry  |  | Laitos — Institution — Department<br>Department of Agricultural Sciences |   |
| Tekijä — Författare — Author<br>Tea Niemi  |  |  |   |
| Työn nimi — Arbetets titel — Title<br>Optimizing harvesting and ensiling of faba bean ( <i>Vicia faba</i> L.): ideal harvesting time for whole-crop faba bean & effects of ensiling crimped faba bean using different additives  |  |  |   |
| Oppiaine — Läroämne — Subject<br>Animal nutrition  |  |  |   |
| Työn laji — Arbetets art — Level<br>Master's thesis  |  | Aika — Datum — Month and year<br>May 2018                                | Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages<br>68 pages |
| Tiivistelmä — Referat — Abstract<br>This master's thesis is part of "Valkuaisfoorumi" project executed in co-operation with Häme University of Applied Sciences (HAMK) and Natural Resources Institute Finland (Luke). Main goal of "Valkuaisfoorumi" is to increase self-sufficiency of protein by increasing the cultivation area and to search possibilities to utilize protein plants in crop rotation and to increase the use of locally produced protein feeds for domestic animals, both ruminants and monogastric animals. There is a rising interest of using faba bean in food industry and as a feedstuff for domestic animals.<br>Experiment 1: Optimizing harvesting time for whole-crop faba bean. Optimal harvesting time was determined by collecting samples from three different faba bean varieties five times at two-week intervals during growing period and analysing changes in nutritional value and crop yields.<br>Optimal harvesting time is after the pods are starting to fill and the plant is still green, leafy and not rotten. Crop yield grows within time but harvesting is recommended before autumn rains as humid conditions increase risk of losses during harvesting and preservation.<br>Experiment 2: Crimped faba beans were ensiled using different additives based on lactic acid bacteria or additives restricting fermentation. Nutritional value, microbiological and fermentation quality, aerobic stability and reduction of the antinutritional factors were determined.<br>Additives improved quality of ensiled crimped faba bean. Amounts of vicin and convicin decreased during fermentation process. Amount of tannins varied among treatments and antimicrobial chemical additive was the most efficient in reducing tannins compared to ensiling without additives. Aerobic stability was good with all additives and with antimicrobial chemical treatment the 2-degree temperature rise could not be reached during the measurement period of 210 h. Lactic acid bacteria based inoculant improved fermentation quality of feed by decreasing the number of harmful microbes. Chemical additive restricted the fermentation of feed and fermentation losses were minute. By ensiling crimped faba bean it is possible to harvest the crop in earlier stage of maturity and using additives improves the nutritional and microbial quality. |  |  |   |
| Avainsanat — Nyckelord — Keywords<br>faba bean, harvest, ensiling, whole crop, crimped, antinutritional factor, aerobic stability  |  |  |   |
| Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited<br>Department of Agricultural Sciences   |  |  |   |
| Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information<br>Supervisors: University Lecturer Seija Jaakkola (HY), docent Marketta Rinne (Luke) and senior scientist Kaisa Kuoppala (Luke)  |  |  |   |
|  |  |  |   |

## Sisällys

|  |           |
|--|-----------|
| <b>LYHENTEET JA SYMBOLIT.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1 JOHDANTO .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2 HÄRKÄPAVUN OMINAISUUDET REHURAAKA-AINEENA JA<br/>VILJELYKASVINA .....</b>                   | <b>8</b>  |
| 2.1 Ravintoarvot .....   | 8         |
| 2.2 Haitta-aineet.....   | 9         |
| 2.3 Viljelyominaisuudet.....   | 13        |
| 2.4 Satoisuus ja korjuu .....  | 16        |
| 2.5 Härkäpavun säilöntä .....  | 16        |
| <b>3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>4 AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>4.1 Koe 1: Korjuuajan määrittäminen ja korjuuajan vaikutus<br/>rehuarvoihin.....</b>          | <b>20</b> |
| 4.1.1 Koeruutujen viljelytoimenpiteet .....  | 20        |
| 4.1.2 Korjuuajanäytteiden otto ja kasvuston havainnointi .....                                   | 21        |
| 4.1.3 Näytteiden käsittely ja analysointi .....  | 22        |
| 4.1.4 Tulosten tilastollinen analysointi .....   | 23        |
| <b>4.2 Koe 2: Murskesäilötyn härkäpavun säilöntä eri säilöntäaineilla .....</b>                  | <b>24</b> |
| 4.2.1 Raaka-aineen tuotanto ja esikäsittely ennen säilöntää .....                                | 24        |
| 4.2.2 Säilöntä.....  | 24        |
| 4.2.3 Kemiallinen ja mikrobiologinen analyysi ja aerobinen stabiilisuus ....                     | 26        |
| 4.2.4 Tulosten tilastollinen analysointi .....   | 28        |
| <b>5 TULOKSET.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>5.1 Koe 1. Korjuuajan määrittäminen ja korjuuajan vaikutus rehuarvoihin<br/>.....</b>         | <b>28</b> |
| 5.1.1 Kasvuston kehitys .....  | 28        |
| 5.1.2 Sääolosuhteet.....   | 31        |
| 5.1.3 Kuiva-ainesato ja kemiallinen koostumus .....  | 31        |
| <b>5.2 Koe 2. Murskesäilötyn härkäpavun säilönnän onnistuminen eri<br/>säilöntäaineilla.....</b> | <b>37</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.2.1 Raaka-aineen koostumus ennen säilöntää .....   | 37        |
| 5.2.2 Säilönnällinen laatu .....   | 37        |
| 5.2.3 Rehun haitta-ainepitoisuudet .....   | 39        |
| 5.2.3 Säilöntätappiot ja aerobinen stabiilisuus .....  | 40        |
| <b>6 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>6.1 Koe 1. Härkäpapukasvuston kehitys .....</b>   | <b>45</b> |
| 6.1.1 Kuiva-ainesato .....   | 45        |
| 6.1.2 Kemiallinen koostumus .....  | 46        |
| 6.1.3 Sulavuus .....   | 48        |
| <b>6.2 Koe 2. Murskesäilötyn härkäpavun säilönnän onnistuminen eri<br/>säilöntäaineilla.....</b> | <b>48</b> |
| 6.2.1 Raaka-aineen koostumus ennen säilöntää .....   | 48        |
| 6.2.2 Härkäpapumurskeen käymislaatu.....   | 49        |
| 6.2.3 Rehun haitta-ainepitoisuudet .....   | 54        |
| 6.2.4 Säilöntätappiot ja aerobinen stabiilisuus .....  | 55        |
| <b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>8 KIITOKSET .....</b>   | <b>59</b> |
| <b>LÄHTEET .....</b>   | <b>60</b> |

## LYHENTEET JA SYMBOLIT

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>°C<sub>vrk</sub></b> | <b>Astevuorokausi</b>                                     |
| <b>AKS</b>              | <b>Antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine</b>            |
| <b>DAD</b>              | <b>Diode array detection / nestekromatografi</b>          |
| <b>D-arvo</b>           | <b>Sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa</b> |
| <b>DP</b>               | <b>Degree of polymerisation / polymerisaatioaste</b>      |
| <b>FA</b>               | <b>Muurahaishappopohjainen säilöntäaine</b>               |
| <b>G6PD</b>             | <b>glukoosi-6-fosfaattidehydrogenaasi</b>                 |
| <b>ICP</b>              | <b>Inductively Coupled Plasma / Massaspektrometria</b>    |
| <b>iNDF</b>             | <b>Sulamaton neutraalidetergenttikuitu</b>                |
| <b>ka</b>               | <b>Kuiva-aine</b>   |
| <b>LAB</b>              | <b>Lactic acid bacteria / maitohappobakteeri</b>          |
| <b>ME</b>               | <b>Muuntokelpoinen energia</b>                            |
| <b>NDF</b>              | <b>Neutraalidetergenttikuitu</b>                          |
| <b>NE</b>               | <b>Nettoenergia</b>                                       |
| <b>NH<sub>3</sub>-N</b> | <b>Ammoniakkityppi</b>                                    |
| <b>NIR</b>              | <b>Lähi-infrapunamenetelmä</b>                            |
| <b>OIV</b>              | <b>Ohutsuolesta imeytyvä valkuainen</b>                   |
| <b>PC</b>               | <b>Prosyamidipitoisuus</b>                                |
| <b>PD</b>               | <b>Prodelfinidipitoisuus</b>                              |
| <b>pmy</b>              | <b>pesäkkeen muodostava yksikkö</b>                       |
| <b>PVT</b>              | <b>Pötsin valkuaistase</b>                                |
| <b>rv</b>               | <b>Raakavalkuainen</b>                                    |
| <b>SEM</b>              | <b>Keskiarvon keskivirhe</b>                              |
| <b>tsp</b>              | <b>Tuhannen siemenen paino</b>                            |
| <b>TUA</b>              | <b>Typettömät uuteaineet</b>                              |
| <b>VFA</b>              | <b>Haihtuvat rasvahapot</b>                               |

## 1 JOHDANTO

Valkuaisomavaraisuuden parantamiseksi Suomessa ja Euroopan Unionissa haetaan uusia keinoja tuottaa valkuaista ravinnoksi ihmisille ja kotieläimille. Maa- ja metsätalousministeriön tilaamassa tiekarttahankkeessa Suomen valkuaisomavaraisuuden parantamiseksi nousi esiin kolmena ajankohtaisimpana aiheena proteiinin alkutuotannon kehittäminen, rehuvalkuaisen käytön tehostaminen ja monipuolistaminen sekä kotimaisen kasvivalkuaisen käytön tehostaminen ihmisravintona (Mokkila ym. 2015). Tämä maisterintutkielma on osana Valkuaisfoorumi-hanketta, jonka avulla pyritään lisäämään tutkimustietoa jo olemassa olevien kasvien käytöstä osana ruokaketjua ja viljelykiertoa (Valkuaisfoorumi 2018). Peltokasviviljelyyn etsitään lajikkeita, jotka menestyvät Suomen olosuhteissa, ovat helppoja korjata ja säilöä sekä soveltuvat ihmisten tai kotieläinten ravinnoksi.

Monipuolisilla ja monikäyttöisillä palkokasveilla voidaan tuoda vaihtelua viljelykiertoon ja korvata ulkomailta tuotavia valkuaisrehuja kotimaisilla vaihtoehtoilla. Monipuolistamalla maatilan viljelykiertoa ja kasvattamalla satotasoja voidaan parantaa maatilan tulosta (Nopanen ym. 2014). Monipuolisella viljelykierrolla kasvilajikohtaiset kasvitaudit ja tuholaiset vähenevät, jolloin kasvinsuojeluun tarkoitettuja kemiallisia valmisteita tarvitaan vähemmän (Peltonen ja Tolonen 2008). Palkokasviviljely vähentää ostolannoitteiden määrää sekä vähentää ostovalkuaisesta syntyviä kustannuksia kotieläinten rehuissa (Manni 2016). Palkokasvit ovat arvokkaita rehukasveja, sillä ne ovat energia- ja valkuaispitoisia ja myös hyviä rehukasveja aminohappokoostumukseltaan täydentämään rehuvalikoimaa vastaamaan kotieläinten ravinnontarvetta (Gefrom ym. 2012).

Härkäpapu (*Vicia faba* L.) soveltuu ominaisuuksiltaan erinomaisesti viljelykierron monipuolistamiseen ja valkuaisrehuksi kotieläimille. Se on kotimaiseen peltokasviviljelyyn soveltuva valkuaiskasvivaihtoehto, joka erottuu edukseen muista valkuaiskasveista viljelyominaisuuksiltaan sekä sadontuottokyvyltään (Peltonen 2017). Kotimaisista valkuaiskasvivaihtoehtoista härkäpapu tuottaa suuren proteiinisadon (Mokkila ym. 2015). Härkäpapu parantaa pellon typpitasetta sitomalla ilmakehän typpeä, jolloin typpilannoitusta voidaan vähentää tai luopua siitä kokonaan (Peltonen ja Tolonen 2008). Typensidonnalla on kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä vaikutus.

Härkäpavun viljely- ja korjuutapoja on monia. Härkäpapua voidaan viljellä joko puhdas-kasvustona tai seoskasvustona (Syrjälä-Qvist ym. 1984). Se voidaan korjata kokokasvus-tona (Syrjälä-Qvist ym. 1984, Pursiainen ja Tuori 2008) tai puida pavut, säilöä ja hyö-dyntää kotieläinten valkuaisväkirehuna (Gefrom 2012). Pavut voidaan kuivata, tai jos ne tulevat rehukäyttöön, ne voidaan säilöä puintikosteudessa murskesäilöntämenetelmällä. Härkäpavun viljelyala on kasvanut viime vuosien aikana paljon, mikä kertoo härkäpavun kasvavasta suosiosta niin kotieläinten rehuna kuin myös elintarvikemarkkinoilla (Luke 2018 b). Vuonna 2017 viljelyala oli 22100 hehtaaria, mikä on 25 % enemmän kuin vuonna 2016, jolloin härkäpavun viljelyala oli 16500 hehtaaria. Vuonna 2013 härkäpavun viljelyala oli vain 7200 hehtaaria. Kasvava kiinnostus härkäpapua kohtaan viljelykasvina luo tarpeen tuottaa tietoa kasvilajin ja lajikkeiden ominaisuuksista ja menestymisestä Suomen olosuhteissa. Lisäksi tarvitaan tietoa säilöntä- ja prosessointivaihtoehtoista, jotta valkuaiskasvien tuotannosta saadaan mahdollisimman kustannustehokasta ja kannattavaa sekä turvallista kuluttajille ja tuotantoeläimille.

Kokoviljasäilörehuksi viljeltävän härkäpapukasvuston korjuuajan määrittämiseksi tulee tuntea hyvin kasvin kehitysvaiheet, lajikkeiden ominaisuudet sekä eri kasvinosien ravin-toainepitoisuudet (Syrjälä-Qvist 1984). Kun kasvin ominaisuudet tunnetaan, voidaan op-timoida härkäpavulle ihanteellinen korjuuaika siten, että sato on huipussaan ja ravintoai-nepitoisuus on parhaimmillaan. Haasteellista korjuuajan optimoinnista tekee vaihtelevat sääolosuhteet, jotka vaikuttavat merkittävästi kasvin kehitykseen, satotappioihin, korjuun ajoittamiseen sekä säilönnän onnistumiseen. Etenkin lyhyen termisen kasvukauden alu-eille tulisi kartoittaa härkäpavun eri viljelytekniikoita ja niiden toimivuutta osana viljely-kiertoa. Rehun hygieenisen ja ravitsemuksellisen laadun kannalta on tärkeää, että rehun säilöntä onnistuu (Syrjälä-Qvist 1984, Seppälä ym. 2014). Huonosti säilynyt rehu on ra-vintoarvoiltaan heikkoa, sisältää terveydelle haitallisia mikrobi-, home- ja hiivakasvus-toja ja on huonosti maistavaa. Härkäpavun sisältämät haitta-aineet puolestaan tekevät siitä käsittelemättömänä etenkin yksimahaisten ruokintaan huonosti soveltuvaa (Gefrom ym. 2012).



## 2 Härkäpavun ominaisuudet rehuraaka-aineena ja viljelykasvina

### 2.1 Ravintoarvot

Taulukossa 1 on esitetty tyypillisimmät rehuarvot härkäpavun siemenelle sekä kokokasvustolle. Härkäpapu on valkuaispitoinen kasvi. Kotimaisten rehutaulukoiden mukaan härkäpavun siemenen keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus on 300 g/kg kuiva-ainetta (ka), mikä on suurempi kuin herneen 230 g/kg ka (Luke 2018 a). Herneen tärkkelyspitoisuus on 480 g/kg ka eli suurempi kuin härkäpavun 380 g/kg ka. Härkäpavun siemenissä on enemmän neutraalidetergenttikuitua (160 g/kg ka) kuin soijarouheessa (120g/kg ka). Härkäpavun siemen sisältää aminohapoista lysiiniä 5,9 g/100g raakavalkuaista (rv), mikä on lähellä soijan lysiinipitoisuutta 6,0 g/100g rv (Luke 2018 a). Kystiini-, metioniini- ja lysiinipitoisuudet ovat härkäpavussa dieetin härkäpapupitoisuutta rajoittavia tekijöitä yksimaisten kotieläinten dieettejä suunnitellessa, kun halutaan käyttää härkäpapua osana dieettiä (Mariscal-Landin ym. 2002). Rikkipitoisten aminohappojen vajausta voidaan korvata täydentämällä dieettiä esimerkiksi rypsilä, jonka aminohappokoostumus sopii täydentämään härkäpapua.

Taulukko 1. Härkäpavun, soijapavun ja herneen siemenosan ja härkäpavun kokokasvuston keskimääräiset ravintoainepitoisuudet (g/kg ka, jos muuta ei mainittu) (Luke 2018 a)

| Koostumus                       | Härkäpapu<br>siemen | Kokokasvusto,<br>palot kehitty-<br>mässä | Soijapapu<br>siemen | Herne sie-<br>men |
|---------------------------------|---------------------|--|---------------------|-------------------|
| Kuiva-aine, g/kg                | 860                 | 130                                      | 900                 | 860               |
| Tuhka                           | 36                  | 120                                      | 55                  | 31                |
| Raakavalkuainen                 | 300                 | 190                                      | 400                 | 230               |
| Raakarasva                      | 15                  | 25                                       | 190                 | 11                |
| Raakakuitu                      | 80                  | 270                                      | 60                  | 57                |
| Typettömät uuteaineet           | 565                 | 395                                      | 295                 | 676               |
| Neutraalidetergenttikuitu       | 160                 |  | 120                 | 130               |
| Tärkkelys                       | 380                 |  | 54                  | 480               |
| Sokeri                          | 40                  |  | 77                  | 55                |
| Aminohapot g/kg raakavalkuaista |                     |  |                     |                   |
| Lysiini                         | 5,9                 |  | 6                   | 7,1               |
| Metioniini                      | 0,6                 |  | 1,5                 | 0,9               |
| Kystiini                        | 1,2                 |  | 1,5                 | 1,7               |

Taulukossa 2 on kuvattu tyypillisiä eläinlajikohtaisia laskennallisia rehuarvoja härkävun siemenelle sekä kokokasvustolle (Luke 2018 a). Siemenet ovat ravintoainerikkain osa kasvista. Märehtijöille voi lisäksi syöttää rehua kokokasvustona. Kokokasvuston ravintoainepitoisuuteen vaikuttaa härkävun kehitysaste. Eri eläinlajit kykenevät käyttämään eri tavalla hyväkseen härkävun ravintoaineita. Kyky käsitellä härkävun haitta-aineita vaihtelee myös eläinlajikohtaisesti.

Taulukko 2. Härkävun ravintoarvot eri eläinlajien ruokinnassa (g/kg ka, ellei toisin mainittu) (Luke 2018 a)

|                  |             | Härkäpapukasvusto |               |               |                       |                  |
|------------------|-------------|-------------------|---------------|---------------|-----------------------|------------------|
|                  |             | Härkäpapu         |               |               |                       |                  |
|                  |             | siemen            | Täysi kukinta | Palon ai-heet | Siemen mai-toasteella | Vihreät siemenet |
| Nauta ja hevonen | ME MJ/kg ka | 12,8              | 10,4          | 9,6           | 9,0                   | 9,1              |
| Nauta ja hevonen | D-arvo      | 817               | 650           | 600           | 560                   | 570              |
| Nauta            | PVT         | 125               | 76            | 67            | 64                    | 79               |
| Nauta            | OIV         | 123               | 93            | 86            | 80                    | 76               |
| Hevonen          | SRV         | 255               | 166           | 146           | 137                   | 146              |
| Aikuinen sika    | NE MJ/kg ka | 10,96             |               |               |                       |                  |
| Aikuinen sika    | SRV         | 252               |               |               |                       |                  |
| Siipikarja       | ME MJ/kg ka | 11,6              |               |               |                       |                  |

ME - muuntokelpoinen energia, ka - kuiva-aine, OIV - ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT - pötsin valkuai-aine, RV - raakavalkuainen, SRV - sulava raakavalkuainen, NE - nettoenergia, MJ - megajoule

## 2.2 Haitta-aineet

### Eri haitta-aineet ja niiden merkitys dieetissä

Härkävun siemenet sisältävät haitta-aineita (D'Mello 2000), kuten tanniineja, lektiinejä, saponiineja, proteaasi-inhibiittoreita, visiinia, konvisiinia ja oligosakkarideja (Gefrom ym.2012), jotka rajoittavat härkävun pitoisuutta dieetissä. Elintarviketurvalli-

suusviraton (Evira 2018) mukaan elintarvikkeeksi tarkoitettussa kuivattujen papujen pakauksessa tulisi olla varoitus ja käyttöohje, jonka mukaan papu tulisi liottaa yön yli, huuhdella ja keittää vähintään 30 min–1 h riippuen papulaikkeen siemenen koosta. Eläinten rehuksi käytettynä härkäpavun käsittelytarve on eläinlajikohtaista. Dieettien suurin suositeltu palkokasvipitoisuus riippuu eläinlajista, tuotantosuunnasta ja eläimen iästä sekä härkäpavun prosessointitavasta. Munintakanoilla 50 g/kg ka ja broilereilla 160 g/kg ka viljapohjaisen dieetistä voidaan korvata härkäpavulla (Koivunen 2016). Abd El-Hackin (2017) mukaan dieetin soijapavusta voidaan korvata 50 % härkäpavun siemenillä ja parantaa munantuotannon tehokkuutta munintakanoilla. Dieetin suuremmat härkäpapupitoisuudet kuitenkin vaikuttavat negatiivisesti tuotanto-ominaisuuksiin, kuten munan painoon ja munintaprocenttiin sekä munan laatuun. Broilereilla voidaan korvata osittain dieetin soijapapua härkäpavulla (Nalle ym. 2010). Broilerin dieetti voi sisältää härkäpapua 200 g/kg ka ilman, että sillä on vaikutusta linnun kasvuun, ruuansulatuskanavan toimintaan tai kehitykseen.

Royerin ym. (2010) mukaan aminohappotasapainotetussa dieetissä voidaan käyttää jopa 20 % ja 35 % härkäpapua osana sikojen loppukasvatuksessa käytettävää dieettiä tai lihotusrehuissa. Whiten ym. (2015) mukaan tasapainotetussa dieetissä härkäpavun osuus voi olla 300 g/kg ka ilman, että härkäpavun lisäyksellä on vaikutusta kasvavien lihasikojen kasvuun, tyypitaseeseen tai ulosteiden laatuun. Buron ja Gatelin (1992) ruokintakokeessa korvattiin 15 % dieetistä härkäpavun siemenillä. Härkäpavun syötöllä ei ollut vaikutusta sikojen tiineyden ja laktaation aikaisiin tuotanto-ominaisuuksiin, kuten syntyneiden tai vieroitettujen porsaiden määrään.

### **Visiini ja konvisiini**

Ihminen tai eläin, jolta puuttuu glukoosi–6–fosfaattidehydrogenaasi (G6PD) elimistöstään voi sairastua hemolyyttiseen anemiaan syödessään härkäpapua (McDonald 2011). G6PD-puutos yhdistettynä härkäpavun visiiniin aiheuttaa vakavia oireita, kuten pahoinvointia, hengenahdistusta, vatsakipua, kuumeilua sekä joissain tapauksissa munuaisten vajaatoimintaa. Tilaa kutsutaan myös favismiksi. Visiini ja konvisiini pienentävät rehun sulavuutta, mutta näillä haitta-aineilla ei ole Vilariñon (2009) mukaan vaikutusta rehun valkuaisen sulavuuteen broilereilla.

## **Tanniinit**

Härkäpavun liian suuri tanniinipitoisuus (1,5–2,8 % fenolifraktiosta, 1,0–2,1 % tanniini-fenoleista ja 1,6–3,5 % kondensoituneita tanniineja kuiva-aineessa) vähentää rehun syöntiä yksimahaisilla (Igbasan ym. 1996). Tanniinit estävät ruuansulatusentsyymien toimintaa, mistä johtuu ravintoaineiden imeytymisen ja sulavuuden heikkeneminen (Reddy ym. 1994, Perttilä 2016). Pieni pitoisuus tanniineja ehkäisee kasviperäisen valkuaisen sulatusta pötsissä, jolloin osa proteiinista kulkeutuu märehitjän ohutsuoleen, josta eläimen on sitä mahdollista hyödyntää omassa aineenvaihdunnassa (D’Mello 2000, McDonald 2011). Liian tiukasti tanniiniin sitoutunut valkuaisaine ei kuitenkaan sula ohutsuolessakaan, mikä heikentää valkuaisen sulavuutta (McDonald 2011). Kondensoituneet tanniinit märehitjoiden ravitsemuksessa saattavat ehkäistä puhaltumista laidunkaudella (McMahon ym. 2000). Tanniinit vähentävät metaanin tuotantoa märehitjöillä (Rokka ym. 2018). Broilereilla rehun suuri tanniinipitoisuus vähentää rehun syöntiä ja pienentää rehun sulavuutta (Ortiz ym. 1994, Vilariño 2009). Lampailla villantuotanto vähenee (D’Mello 2000). Broilerit ovat herkempiä härkäpavun tanniineille kuin rotat ja härkäpavun tanniinit lisäävät broilerin kuolleisuutta (Ortiz ym. 1994). Kondensoituneiden tanniinien alaryhmä proantosyanidit voidaan jaotella prosyanideihin ja prodelfinideihin. Prosyanidiinia tavataan härkäpavun lisäksi mm. omenassa, viinissä, kaakaossa ja karpalossa (Hammers-tone ym. 2000). Prosyanidiineilla on todettu olevan antioksidatiivista aktiivisuutta (Ghiselli ym. 1998). Sugiyaman ym. (2007) mukaan omenan prosyanidiineilla on haiman lipaasientsyymiaktiivisuutta ja triglyseridien imeytymistä ehkäisevä vaikutus. Prodelfiniidiinit puolestaan ehkäisevät tyypin 2-diabetesta ja sydän- ja verisuonitauteja (Bahadoran ja Mirmiran 2015).

## **Proteaasi-inhibiittorit (Trypsiini- ja amylaasi-inhibiittorit)**

Proteaasi-inhibiittorit häiritsevät valkuaisaineiden saantia ravinnosta ja lisäävät endogeenisen typen hävikkiä, jonka seurauksena eläimen kasvu hidastuu (D’Mello 2000). Härkäpavussa on vähemmän proteaasi-inhibiittoreita kuin soijapavussa tai herneessä (Guil-lamón 2007). Trypsiini- ja amylaasi-inhibiittorit estävät haiman trypsiinientsyymien ja haiman ja syljen amylaasientsyymien toimintaa, mistä seuraa heikentynyt tärkkelyksen ja val-

kuaisaineiden sulavuus sekä myöhemmin lisääntynyt entsyymien tuotanto ja erityis suolikanavaan (Lajolo ja Genovese 2002). Typpi- ja rikkipitoisten aineiden erityis ulosteen mukana lisääntyy.

### **Lektiinit**

Lektiinit heikentävät ravintoaineiden imeytymistä ja heikentävät suolen toimintaa (D’Mello 2000, Rubio ym. 1989). Hemagglutiniinit (lektiinit) sitoutuvat suolen pinnalla oleviin hiilihydraatteihin ja glykoproteiineihin heikentäen suolen läpäisevyyttä ja ravintoaineiden kuljetusta sekä entsyymi- ja hormonitoimintaa (Rubio ym. 1989). Seurauksena suoliston heikentyneestä toiminnasta eläimen ravinnonsaanti heikkenee, kasvu hidastuu ja vakavimmillaan tila voi johtaa kuolemaan. Hemagglutiniineja on runsaasti härkäpavun siemenosassa (Valdebouze 1980). Härkäpavussa onn lektiiniä (30 g/100g siemeniä) vähemmän kuin herneellä (140 g/100g siemeniä) tai soijapavulla (300 g/100g siemeniä) (Rokka ym. 2018).

### **Haitta-ainepitoisuuksien pienentäminen eri käsittelyillä**

Härkäpapua voidaan käsitellä kumentamalla, idättää, hapattaa, liottaa ja poistaa pavun kuoriosan, jolloin härkäpavun haitta-ainepitoisuudet pienenevät. Härkäpavun erilaisilla lämpökäsittelyillä saatiin käsittelemättömään härkäpapuun verrattuna broilereilla suurempi kasvuvaste, kun ravinnon härkäpavupitoisuus oli yli 85 % (Marquardt 1975). Lämpökäsittelyillä suurimmat kasvuvasteet saavutettiin autoklaavikäsittelyllä, mikroaaltouunikäsittelyllä ja ekstruusiolla. Alonso ym. (2000) käsitelivät artikkelissaan eri prosessointimenetelmien vaikutusta härkäpavun haitta-ainepitoisuuksiin. Pavun kuoriosan poistaminen suurensi pavun proteiinipitoisuutta ja laski tanniinien ja polyfenolien pitoisuutta. Ekstruusiolla saatiin pienennettyä trypsiinin, kymotrypsiinin,  $\alpha$ -amylaasi-inhibiittorien ja hemagglutiniinien (lektiini) pitoisuutta ilman, että kasvin valkuaiskoostumus muuttui. Proteaasi-inhibiittorit voidaan tehdä toimimattomiksi 100 °C lämpötilassa (Igbasan 1996). Idättämällä voidaan myös pienentää proteaasi-inhibiittorien aktiivisuutta (Rokka ym. 2018). Tanniinipitoisuutta kyetään pienentämään myös säilönnän avulla (Gefrom ym. 2012). Liottamalla papuja 16 h tai ekstruusiolla voidaan El-Hadyn ja Habiban (2003)

mukaan pienetää palkokasvien haitta-ainepitoisuuksia. Valkuaisen ja tärkkelyksen sulavuus parani parhaiten lämpökäsittelyssä verrattuna muihin käsittelyihin, joita olivat kuoriosan poisto, liotus tai idättäminen.

Maitohappobakteerin käymisreaktiota hyödyntävää säilöntätapaa voidaan pitää varteenotettavana papujen säilönnässä. Fermentaation avulla yksimahaisten ruuansulatuskanavassa sulamattomat palkokasveille ominaiset oligosakkaridit (raffinoosi, stakyoosi, verbaskoosi) saadaan hyödynnettyä maitohappobakteerin ravintona (Gefrom 2012). Fermentaatiolla voidaan parantaa palkokasvin ravitsemuksellista laatua, sillä rehun haitta-ainepitoisuudet pienenevät käymisen myötä (Zamora ja Fields 1979, Gefrom ym. 2012). Maitohappokäyminen tapahtuu pääasiassa vesifaasissa, joten säilönnän onnistumisen kannalta on tärkeää, että säilöttävä rehumassa sisältää riittävästi nestettä (Gefrom ym. 2012). Kuivalla säällä puitu papu saattaa tarvita vesilisäyksen. Vaihtoehtoisesti papu pitäisi puida kostean sään aikaan ja ennen kuin papu on ennättänyt tuleentua kokonaan. Jotta entsyymit pääsevät vaikuttamaan säilönnän aikana, tulisi papu murskata ennen säilöntää. Rokan ym. (2018) mukaan rehun visiinipitoisuutta voidaan pienentää kasvinjalostuksella, lajikevalinnalla, kasvupaikkavalinnalla ja hapattamalla pavut. Kuoriminen ei pienennä härkäpavun visiinipitoisuutta, sillä visiiniä on pavun alkio-osassa. Härkäpapujauhon visiini- ja konvisiinipitoisuus pienenevät 91 % käsittelemättömään härkäpapujauhoon verrattuna maitohappobakteerikäymisen seurauksena Rossanan ym. (2015) tutkimuksessa.

## **2.3 Viljelyominaisuudet**

### **Härkäpavun ominaisuudet viljelykasvina**

Härkäpapu menestyy hyvin Pohjolan olosuhteissa, ilmavassa savi- tai hietamaassa (Tammeorg ym. 2014), jonka pH on yli 6 (Schubert ym. 1990). Kasvi vaatii tuottaakseen siemensadon vähintään + 5 °C lämpötilan ja tehoisan lämpösumman tulisi ylittää 1060 astevuorokautta (°Cvrk) (Peltonen-Sainio ym. 2009). Härkäpapu peittää hyvin alleen rikkakasvit, jolloin rikkakasvitorjuntaa tarvitaan hyvin vähän. Kasvitauteja tavataan härkäpavussa vain vähän (Wilson 1937).

### Kasvuston kehitysvaiheet ja rehuarvot

Härkäpapukasvuston kehityksen aikana kasvin varsi-, lehti-, kukka- ja siemenosien suhteissa tapahtuu muutoksia. Aluksi härkäpapukasvusto kasvattaa pitkän varren lisäen myös lehtihankojen ja kukintojen määrää. Kukinnon jälkeen kehittyvät palot, jotka kasvavat kokoa ja myöhemmin täyttyvät pavuista. Kasvukauden lopussa kasvusto ränsistyy, lehdet varisevat ja palot sekä varret tummuvat. Kehityksen eri vaiheissa kasvuston ravintoainepitoisuus vaihtelee. Taulukkoon 3 on listattu eri tutkimuksista korjuuaikatietoja. Eri tutkimuksissa kokoviljahärkäpavun korjuupäivät vaihtelevat 53–141 vuorokauden välillä kylvöstä. Kasvin kuiva-ainesato (Syrjälä-Qvist ym. 1984, Fraser ym. 2001, Ghanbari-Bonjar ja Lee 2003, Kuoppala ym. 2014a) kasvoi kasvin kehittyessä. Fraserin ym. (2001) ja Kuoppalan (2014a) mukaan tärkkelyspitoisuus oli huipussaan kasvukauden keskivaiheilla, palkojen täyttyessä. Syrjälä-Qvistin (1984) ja Fraserin ym. (2001) mukaan raakavalkuaispitoisuus pieneni kasvukauden edetessä. Kasvuston kuitupitoisuus lisääntyi Syrjälä-Qvistin ym. (1984) (raakakuitu) ja Fraserin ym. (2001) (NDF) mukaan, kun taas Ghanbari-Bonjarin ja Leen (2003) (NDF) ja Kuoppalan ym. (2014a) (raakakuitu) mukaan kuitupitoisuus pieneni kasvukauden edetessä.

Taulukko 3. Koonti kirjallisuudessa esiintyvistä kokoviljahärkäpavun rehuarvoista

|  | vrk kylvöstä | ka g/kg | g/kg Kuiva-aineessa |     |            |           |
|--|--------------|---------|---------------------|-----|------------|-----------|
|  |              |         | rv                  | NDF | raakakuitu | tärkkelys |
| Syrjälä-Qvist ym.<br>1984 (Mikko) (FI) | 53           | 113     | 214                 |     | 202        |           |
|  | 70           | 128     | 194                 |     | 265        |           |
|  | 83           | 169     | 184                 |     | 278        |           |
| Ghanbari-Bonjar ja<br>Lee 2003 (UK)    | 96           | 183     | 172                 | 339 |            |           |
|  | 126          | 208     | 167                 | 361 |            |           |
|  | 141          | 357     | 185                 | 296 |            |           |
| Fraser ym. 2001                        | 70           | 121     | 213                 | 375 |            | 45        |
|  | 84           | 135     | 187                 | 372 |            | 73        |
|  | 98           | 153     | 180                 | 376 |            | 64        |
| Faulkner ym. 1985                      | 111          | 166     | 159                 |     |            |           |
| Pursiainen 2008                        | 69           | 155     | 179                 | 361 |            | 185       |

ka – kuiva-aine, NDF – neutraalidetergenttikuitu

Härkäpavun juurinystryöissä symbioosissa elävällä *Rhizobium* -bakteerilla on kyky sitoa typpeä ilmakehästä (Peltonen ja Tolonen 2008). Härkäpapu antaa ravinteita bakteerin käyttöön saaden samalla itse typpeä omaan käyttöönsä. Typensidontakykyyn 50–100 kg/ha vuodessa (Peltonen ja Tolonen 2008) vaikuttaa ilmaston ja maaperän olosuhteet, kuten maaperän suolapitoisuus, pH, ravintoaineiden pitoisuus, myrkyllisten aineiden pitoisuus, lämpötila, maaperän kosteus tai kuivuus, kasvitautit sekä fotosynteesiä haittaavat tekijät (Zahran 1999).

### **Suklaalaikku ja harmaahome**

Härkäpavussa esiintyy suklaalaikkua ja harmaahometta, mutta muuten se on verrattain tautivapaa kasvilaji (Wilson 1937). Suklaalaikku (*Botrytis Fabae*) on yleisin ja taloudellisesti merkittävin härkäpavussa esiintyvä kasvitauti, joka säilyy kasvin jäänteissä seuraavaan satokauteen ja leviää kasvustossa herkästi. Suklaalaikun esiintymiseen vaikuttaa lämpötila, ilmankosteus sekä tuuliolosuhteet. Ihannelämpötila suklaalaikun menestymiselle on + 20 °C. Otollinen ilmankosteus suklaalaikulle on yli 84 %. Tuulisella säällä suklaalaikku leviää todennäköisemmin kuin tyynellä säällä ilmankosteuden ollessa riittävä. Pitkään jatkuvat sateet altistavat sadon suklaalaikulle, sillä veden täyttämä maaperä levittää tautia tehokkaasti. Rikki- ja fosfaattiköyhä maaperä saattaa edistää suklaalaikun leviämistä kasvustossa. Suklaalaikku leviää yleensä kasvissa alalehdistä ylöspäin ja saa aikaan kasviin ruskeita täpliä ja kasvinosien ränsistymistä aiheuttaen satotappioita.

Kosteissa viljelyolosuhteissa saattaa esiintyä harmaahometta (*Bortyris Cinerea*) (Deverall ja Wood 1981). Harmaahometta esiintyy tiheässä kosteassa papukasvustossa, missä sen on helppo levitä. Vanhat ränsistyvät ja rikkoontuneet lehdet edistävät harmaahomeen menestymistä. Myös kasvin helposti käytettävissä olevat sokerit kelpaavat harmaahomeelle ravinnoksi ja erityisesti sokeripitoisissa kasvinosissa esiintyy harmaahometta. Juurien mätänemistä aiheuttava *Phytophthora pisi* on herne- ja härkäpapukasvustoissa esiintyvä kasvitauti, joka leviää herkästi koko satoon aiheuttaen merkittäviä saotappioita ja säilyy pitkään maaperässä (Heyman 2013). Koska kasvitauti säilyy pitkään maaperässä, hernekasvustoa ei suositella viljeltäväksi, jos pellolla on viljelty härkäpapua lähi-vuosina.



## 2.4 Satoisuus ja korjuu

Härkäpavun siemensato vaihteli Suomessa 1720–2520 kg ka/ha vuosina 2010–2017 (Luke 2018 c). Keskimääräinen härkäpapusäilörehusato oli 7020 kg ka/ha vuonna 2017. Iso-Britannian olosuhteissa kokoviljahärkäpavun satopotentialiksi on arvioitu jopa 7760 kg ka/ha (Fraser ym. 2001). Kokoviljana korjattava härkäpapu voidaan korjata aikaisemmin kuin siemenhärkäpapu (Syrjälä-Qvist 1984, McDonald ym. 2011). Optimaalinen korjuuaika vaihtelee 53–111 vuorokautta kylvöstä (Syrjälä-Qvist 1984, Faulkner ym. 1985, Fraser ym. 2001, Pursiainen 2008). Kokoviljahärkäpapakasvuston korjuun ja säilönnän kannalta on tärkeää, että rehu korjataan, kun se on vielä vihreää (Syrjälä-Qvist ym. 1984, Fraser ym. 2001, Seppälä ym. 2014), jolloin minimoidaan kuolleiden kasvinosien pitoisuus rehussa. Tällöin haitallisten mikrobien osuus on pieni ja ravintoarvo suuri (Fraser ym. 2001). McDonaldin ym. (2011) mukaan kokoviljahärkäpapu tulisi korjata palkojen täyttymisen aikaan ja esikuivata kuiva-ainepitoisuuteen 300 g/kg ka. Iso-Britannian olosuhteissa härkäpapakasvusto oli ihanteellista korjattavaksi aikaisintaan 12 viikon päästä kylvämisestä, jolloin kasvustossa on litteät palot (Fraser ym. 2001).

Rehun kosteus hankaloittaa korjuuta ja aiheuttaa satotappioita. Rehun heikko mikrobiologinen laatu on syötettynä eläimille terveysriski ja lisää ostorehukustannuksia tilatasolla, mikäli tuotettu rehu ei ole syöntikelpoista. Sateinen syksy hankaloittaa korjuuta sekä lisää säilörehun virheikäymisen riskiä korjuukaluston renkaissa siiloon kulkeutuvan maa-aineksen vuoksi. Kokokasvuston ajaminen karholla ennen korjuuta lisää varisemistappioita ja virheikäymisen riskiä, kun rehuun joutuu maa-ainesta. Karholla kuitenkin rehu kuivuu, jolloin puristenestetappioiden pitoisuus on pienempi (Seppälä ym. 2014).

## 2.5 Härkäpavun säilöntä

Pohjoismaissa vallitsevissa viljelyolosuhteissa voidaan eri säilöntätavoilla vaikuttaa rehun tuotantokustannuksiin. Eri säilöntätapoja tutkimalla voidaan löytää yhä edullisempia ja toimivampia säilöntäratkaisuja ja säästää tuotantokustannuksissa. Suomessa lyhyt kasvukausi asettaa rajoituspäätöksiä härkäpavun viljelylle. Kasvusto ei aina ennätä tuleentua kokonaan ja syksyn kosteat olosuhteet saavat aikaan sen, että härkäpapu saatetaan joutua korjaamaan kosteana. Kuivaus on paljon energiaa kuluttavaa ja lisää tuotantokustannuksia.

Vaihtoehtona rehuviljan kuivaamiselle voidaan siemen korjata kosteampana ja säilöä, jolloin riski rehun pilaantumiselle on pienempi ja säästetään kuivauskustannuksissa. Viljojen (Nykänen ym. 2009), herneen ja härkäpavun (Syrjälä-Qvist ym. 1984, Faulkner ym. 1985, Borreani ym. 2009) kokokasvustoa on säilötty aikaisemmissa tutkimuksissa onnistuneesti. Härkäpavun murskesäilönnästä on vain vähän tutkimustietoa (Dewitte 2008, Gefrom ym. 2012, O’Kiely ym. 2014).

Kokoviljahärkäpapu on säilönnän kannalta haasteellinen rehu, sillä siinä on vähän sokeita (Luke 2018 a) ja sillä on suuri puskurikapasiteetti (Seppälä ym. 2014, McDonald 2011). Säilönnässä syntyy runsaasti puristenestettä. Lisäksi talvisaikaan rehu jäätyy rehun kosteuspitoisuuden ollessa liian suuri (Seppälä ym. 2014). Onnistuneella säilönnällä voidaan parantaa rehun syönti-indeksiä. Runsas käymishappojen ja haihtuvien rasvahappojen pitoisuus vähentää rehun syöntiä (Huhtanen 2007).

Säilörehun laatuanalyysille on annettu erilaisia tulkintaohjeita ja tavoitearvoja (esim. Nyholm 2018) (taulukko 4). Murskesäilötyille rehuille ei ole annettu erikseen laatukriteereitä. Nurmisäilörehun säilönnällisestä laadusta kertoo rehun pH, sokeripitoisuus, maitohappopitoisuus, haihtuvien rasvahappojen pitoisuus sekä ammoniakkipitoisuus (Kaiser ym. 2004, Seppälä ym. 2014, Nyholm 2018). Pilaantunut rehu lämpenee, sen pH-arvo kasvaa, rehun vesipitoisuus lisääntyy ja pinnalle ilmestyy homeita.

Taulukko 4. Säilörehun säilönnällisen laadun mittarit (Nyholm 2018)

|   | tavoitearvo                                 |
|---|---|
| tavoite pH                                      | 4,0 4,2 4,3 4,5 4,7                         |
| pH-arvon alla mainitussa kuiva-aineessa g/kg ka | 200 250 300 350 400                         |
| Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä g/kg N    | hyvälaatuinen < 70, moitteeton < 40         |
| Maitohappo ja muurahaishappo g/kg ka            | 35–80                                       |
| Haihtuvat rasvahapot g/kg ka                    | < 10  |
| Liukoinen typpi g/kg ka                         | hyvälaatuinen < 500, moitteeton < 400       |
| Sokeri g/kg ka                                  | 50–150, biologisilla säilöntäaineilla 20–50 |
| ka – kuiva-aineessa                             |   |

Käymisen ohjaamiseksi on mahdollista lisätä rehuun erilaisia säilöntäaineita, jotka ehkäisevät virheikäymistä ja edistävät rehun oikeanlaista käymistä. On olemassa erilaisia säilöntäaineita, jotka vaikuttavat säilöntään eri tavalla. Maitohappokäymistä edistävät

tuotteet, kuten maitohappobakteerit ja rehun sokereita maitohappobakteerin käyttöön va-  
pauttavat entsyymit lisäävät maitohappobakteerin pitoisuutta rehussa ja laskevat rehun  
pH:ta (Kaiser ym. 2004). Käymistä rajoittavat tuotteet, kuten muurahaishappo, etikka-  
happo sekä niiden suolat laskevat rehun pH:ta ja rajoittavat rehun käymistä. Propio-  
nihappo, sorbiinihappo ja bentsoehappo sekä niiden suolat parantavat rehun aerobista sta-  
biilisuutta (Woolfoord ym. 1975).

Dewitten ym. (2008) härkäpavun siemenosan säilöntäkokeessa pavun säilönnällinen laatu  
oli hyvä. Voihappoa ei havaittu papumurskeessa ja ammoniakitypen osuus kokonaisty-  
pestä oli kaksi kertaa suurempi ilman säilöntäainetta (32,5 g/kg N) kuin säilöntäaineen  
(50 % muurahaishappo, 50 % propionihappo) kanssa (12,5 g/kg N). pH-arvo oli myös  
pienempi säilöntäaineella säilöittäessä (4,08) kuin ilman säilöntäainetta (4,20) (taulukko  
5). Gefromin ym. (2012) härkäpapumurskeen säilöntäkokeessa verrattiin maitohappobak-  
teerisäilöttyä papumursketta ilman säilöntäainetta säilöttyyn papumurskeeseen ja härkä-  
papumurskeeseen, johon oli lisätty melassia sekä maitohappobakteereja ja melassisäilöt-  
tyyn härkäpapumurskeeseen (taulukko 5). Ilman säilöntäainetta tai melassia säilötty rehu  
oli säilönnälliseltä laadultaan onnistunutta, mutta maitohappobakteeripohjainen säilöntä-  
aine paransi hieman rehun säilönnällistä laatua laskemalla etanolipitoisuutta sekä am-  
moniakitypen osuutta kokonaistypestä. Propionihappoa ja voihappoa ei havaittu mis-  
sään näytteessä. Maitohappobakteerisäilöntä pienensi härkäpapumurskeen tanniinipitoi-  
suutta. Melassilisäyksestä ei ollut hyötyä säilönnän kannalta. Tuoreen härkäpapumurs-  
keen kosteuspitoisuus oli 348 g/kg ka.

O’Kielyn ym. (2014) härkäpapumurskeen säilöntäkokeessa rehun säilönnällinen laatu oli  
hyvää ilman säilöntäainetta säilöittäessä sekä hapolla, urealla, *Lactobacillus buchneri*-,  
*Lactobacillus plantarum*- ja *Pediococcus pentosaceus* -säilöntäaineilla säilöittäessä (tau-  
lukko 5). Papuja säilöttiin murskattuna ja kokonaisina papuina. Rehu oli kuivempaa (kos-  
teuspitoisuus 249 g/kg) kuin Gefromin ym. (2012) kokeessa. Propionihappoa ja voihap-  
poa ei havaittu säilönnän aikana ja muut säilönnällisen laadun mittarit olivat samansuun-  
taiset kuin Dewitten ym. (2008) ja Gefromin ym. (2012) kokeissa. Mikään säilöntäaine  
ei erottunut ylitse muiden. Murskaaminen edisti rehun käymistä, mutta heikensi rehun  
aerobista stabiilisuutta.

Taulukko 5. Härkäpapumurskeen säilönnällinen laatu eri kokeissa

|   | ka<br>g/kg | Tärkke-<br>lys | pH   | NH <sub>3</sub><br>(g/kg N) | Etikka-<br>happo | Voi-<br>happo | Maito-<br>happo | Eta-<br>noli |
|---|------------|----------------|------|-----------------------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|
| Dewitte ym. (2008)                              |            |                |      |                             |                  |               |                 |              |
| ei säilöntäai-<br>netta                         | 643        |                | 4,2  | 33                          | 285*             | 0             | 0,268*          |              |
| 50 % propio-<br>nihappo /50 %<br>muurahaishappo | 646        |                | 4,08 | 13                          | 273*             | 0             | 0,213*          |              |
| Gefrom ym. (2012)                               |            |                |      |                             |                  |               |                 |              |
| ei säilöntäai-<br>netta                         | 656        |                | 4,3  | 23                          | 3                | 0             | 49              | 3            |
| melassi   | 659        |                | 4,3  | 19                          | 4                | 0             | 47              | 3            |
| LAB   | 661        |                | 4,1  | 14                          | 2                | 0             | 53              | 2            |
| LAB + melassi                                   | 661        |                | 4,1  | 11                          | 3                | 0             | 53              | 2            |
| O'Kiely ym. (2014)                              |            |                |      |                             |                  |               |                 |              |
| ei säilöntäai-<br>netta                         | 729        | 340            | 5,9  | 3                           | 2                | 0             | 7               | 8            |
| happosäilöntä                                   | 721        | 323            | 5,9  | 3                           | 2                | 0             | 5               | 4            |
| urea  | 694        | 319            | 8,9  | 24                          | 4                | 0             | 5               | 3            |
| <i>Lactobacillus</i>                            |            |                |      |                             |                  |               |                 |              |
| <i>buchneri</i>                                 | 687        | 343            | 4,9  | 11                          | 8                | 0             | 23              | 9            |
| <i>Lactobacillus</i>                            |            |                |      |                             |                  |               |                 |              |
| <i>plantarum</i> +<br><i>Pediococcus</i>        |            |                |      |                             |                  |               |                 |              |
| <i>Pentosaceus</i>                              | 722        | 340            | 5,2  | 5                           | 3                | 0             | 15              | 5            |

ka – kuiva-aine, LAB – maitohappobakteerilla silötty härkäpapumurske, Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä – NH<sub>3</sub> (g/kg N), g/kg ka, ellei toisin ilmoitettu (pl pH)  
 \*g/kg tuorepainosta

### 3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkielmassa oli kaksi osatavoitetta, joita selvitettiin kahden eri kokeen avulla:

1. Kokeessa 1. oli tavoitteena määrittää härkäpapukasvuston optimaalinen korjuu-aika. Korjuuajan määrittämiseksi tutkittiin kasvuston kehitystä kasvukauden aikana ottamalla kasvustonäytteitä ja havainnoimalla kasvin eri osien kehitystä.

Tutkimuksen hypoteesina oli, että optimaalinen korjuuaika on silloin, kun kasvi on vielä kehitysasteeltaan lehtevä, vihreä sekä tuore, eikä vielä tuleentunut, ruskea tai lakoontunut. Korjuun aikaan satotaso on mahdollisimman suuri ja ravintoarvot hyvät.

2. Kokeen 2 tavoitteena oli vertailla eri tavoin vaikuttavien säilöntäaineiden vaikutusta puidun ja murskatun härkäpavun säilönnän onnistumiseen sekä säilöntätavan vaikutusta pavun haitta-ainepitoisuuksiin.

Rehun ravintoarvoihin ei paneuduttu kokeessa 2 muuten kuin murskatun härkäpavun haitta-ainepitoisuuksien osalta. Painopisteenä oli selvittää rehun säilönnällinen laatu, aerobinen stabiilisuus sekä haitta-aineiden pitoisuudet.

Hypoteesina oli, että härkäpapumurskeen käymislaatu ja hygieeninen laatu säilyvät parhaiten lisäämällä säilöntäainetta rehuun. Kaikilla kokeen säilöntäaineilla saadaan oletettavasti rehuraaka-aineeksi kelpaavaa rehua, mutta eri säilöntätavoilla voidaan vaikuttaa rehun haitta-ainepitoisuuksiin eri tavoin. Lähtötilanteeseen verrattuna säilönnän aikana rehun haitta-ainepitoisuudet pienenevät ja mitä voimakkaampaa käyminen on, sitä voimakkaammin haitta-ainepitoisuudet pienenevät.

## **4 AINEISTO JA MENETELMÄT**

### **4.1 Koe 1: Korjuuajan määrittäminen ja korjuuajan vaikutus rehuarvoihin**

#### **4.1.1 Koeruutujen viljelytoimenpiteet**

Tutkimus toteutettiin satunnaistettujen lohkojen koemallin mukaisena ruutukokeena Hämeen ammattikorkeakoulun Mustialan tutkimus- ja opetusmaatilan pellolla (60°48'N, 023°45'E). Ruutukoe toteutettiin siten, että koeruudut eivät sijoittuneet pellon reuna-alueille tai päisteiden kohdalle. Ympäröivä kasvusto oli Fuego-härkäpapua. Kolme eri härkäpapulajiketta kylvettiin 2.6.2015 ruutuina pellolle. Ruutukokeen maaperä oli multavaa

hietasavea. Lajikkeet kylvettiin puhdaskasvustona. Koeruudet olivat koeruutukylvökooneen (1,5 m) levyisiä ja 20 m pitkiä, jolloin yhden ruudun ala oli 30 m<sup>2</sup>. Jokaisen koeruudun välissä oli n. 0,5 m levyinen kylvämätön alue. Jokaista lajiketta kylvettiin neljä koeruutua, jolloin saatiin neljä kerrannetta ja yhteensä 12 koeruutua.

Lajikkeiksi valittiin ulkomaiset Honey (Wherry ja Sons Ltd., Iso-Britannia), Fanfare (NPZ-Lembke, Saksa) ja Pyramid (Limagrain Europe, Iso-Britannia) (PGRO 2014), jotka soveltuvat paremmin vihermassan tuotantoon kuin puitavaksi siemenen tuleennuttua. Lajikkeet vaativat pitkän kasvuajan ja niille ominaista on rehevä ja runsas kasvusto.

Koeruutuja ei lannoitettu ollenkaan ja kasvinsuojelutoimenpiteitä ei kasvukauden aikana tehty. Siemeniä kylvettiin lajikekohtaisilla kylvömäärillä (taulukko 6).

Taulukko 6. Ruutukokeen lajikekohtaiset kylvömäärät

|                            | Honey | Fanfare | Pyramid |
|----------------------------|-------|---------|---------|
| Tuhannen siemenen paino, g | 680   | 560     | 696     |
| Itävyys, %                 | 88    | 98      | 95      |
| Kylvömäärä, kg/ha          | 386   | 286     | 366     |

#### 4.1.2 Korjuuaikanäytteiden otto ja kasvuston havainnointi

Korjuuaikanäytteet kerättiin 50 cm × 50 cm kokoisella kehikolla. Jokaisella näytteenotokerralla otettiin joka ruudusta kaksi kehikollista eli yhteensä kahdeksan kehikollista näytettä lajiketta kohti. Näytteet kerättiin kahden viikon välein ja näytteenottokertoja oli yhteensä viisi. Näytteenottopäivät olivat 28.7., 10.8., 25.8., 8.9. ja 22.9. Kehikon paikkaa ei voitu täydellisesti satunnaistaa, sillä pitkän härkäpapukasvuston sekaan ei voi heittää kehikkoa. Kehikon paikka valittiin siten, että kehikon kasvusto oli mahdollisimman tasaista.

Kehikon paikka valittiin siten, että edellinen näytteenotto ei vaikuttanut seuraavaan näytteenottoon. Näyte otettiin aina vähintään puoli metriä koeruudun sisältä. Kehikon asettelu tapahtui pujottamalla kehikon avoin sivu kasvuston tyveen siten, että jokaiseen kehikoliseen tuli yhtä monta kylvöriviä.

Peltomataraa (*Galium spurium*) esiintyi kasvustossa satunnaisesti. Peltomataraa on herkästi muuhun kasvustoon takertuva kasvi, jonka erotteluinen härkäpapukasvustosta hankaloitti kasvustonäytteen keräämistä kokonaisena pellolta. Hennosti varressa kiinni olevat palot irtosivat helposti, jos peltomataraa oli runsaasti näytteenottopaikan kohdalla. Näytteenottopaikkaa valitessa valittiin kohdat, jossa peltomataraa oli mahdollisimman vähän tai ei ollenkaan ja satunnaiset irronneet pavut kerättiin talteen. Näytteenottokehikon sisältämä peltomatarakasvusto ja muut satunnaiset rikkakasvit (timotei) jätettiin pois näytteistä, sillä korjuuajan määrityksen kannalta ei ollut tarkoituksenmukaista sisällyttää niitä näytteisiin.

Härkäpavut katkaistiin n. 5 cm:n korkeudelta maan pinnasta ja kultakin lohkolta kerätyt kasvit jaettiin kahteen muovisäkkiin (A ja B). Samalla mitattiin kasvuston korkeus neljältä kehikkoa ympäröivältä sivulta. Keruunäytteiden massa mitattiin punnitsemalla pussit koekiertovaa'alla. Lisäksi jokaisella näytteenottokerralla kasvuston kehitystasetta havainnoitiin ja kasvustosta otettiin valokuvia.

#### 4.1.3 Näytteiden käsittely ja analysointi

Kolmella ensimmäisellä näytteenottokerralla kaikki A-näytteet levitettiin valkoiselle muoville ja valokuvattiin. Kahdella viimeisellä kerralla kasveja ei valokuvattu. Valokuvaamisesta luovuttiin viimeisillä näytteenottokertoilla, sillä lehti- ja palko-osat olivat heikosti kiinni varsiosassa ja ylimääräistä kasvien käsittelyä vältettiin, jotta kyettiin laskemaan kasvien lehtihankojen ja palkojen lukumäärä. Kasveista otettiin edustava näyte, joka analysoitiin Valio Oy:n laboratoriossa (Artturi®-analyysi).

Artturi®-analyysillä A-näytteistä määritettiin kuiva-aine, raakavalkuainen (rv), neutraalidetergenttikuitu, sulamaton kuitu (iNDF), tuhka, D-arvo ja tärkkelys. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin uunikuivauksella. Raakavalkuainen, kuitu, sulamaton kuitu, tuhka ja D-arvo määritettiin NIR-menetelmän (lähi-infrapunamenetelmä) avulla. Tärkkelyspitoisuus määritettiin Ewars'n polarometrisellä menetelmällä.

Näytteet A ja B käsiteltiin Luke Jokioisilla. Näyte A silputtiin (Walter u Wintersteiger KG. Ried im Innkreis, Itävalta) ja siitä analysoitiin kuiva-ainepitoisuus kuivattamalla näytteitä lämpökaapissa 105 °C:ssa yön yli. Analysoiduista kuiva-aineista käytettiin tutkimuksessa Luken laboratoriossa analysoitua kuiva-ainetta. B-näytteiden kasvien pituus mitattiin ja kasveista laskettiin kasvin lehtihankojen lukumäärä, kehitysvaiheesta riippuen kukkien tai palkojen lukumäärä, monessako haarassa oli kukkia tai palkoja sekä montako palkoa yhdessä lehtihaarassa oli. B-näytteille tehtiin morfologinen analyysi, jossa kasvien lehti-, palko- ja varsiosat eroteltiin ja punnittiin. B-näytteiden kuiva-ainepitoisuus määritettiin kuivattamalla näytteitä lämpökaapissa 60 °C:ssa yön yli.

Tuore- ja kuiva-ainesato hehtaaria kohden laskettiin hyödyntämällä näytteenottokehikkojen (2 kpl/koeruutu) yhteispinta-alaa (2 kehikkoa vastaa 0,5 m<sup>2</sup> alaa), kasvustonäytteiden tuorepainoja ja Lukessa määritettyä kuiva-ainepitoisuutta.

#### 4.1.4 Tulosten tilastollinen analysointi

Tulokset analysoitiin SAS -ohjelmalla (SAS Inst. INC., Cary, NC), SAS-Mixed-proseduurilla.

Lajikkeiden ja korjuuajan vaikutusta testattiin seuraavilla kontrasteilla:

- lajike,
- näytteenottokerta,
- lajike \* näytteenottokerta

Tilastolliset merkitsevyydet esitettiin tuloksissa seuraavalla tavalla:

Tilastollisesti merkitsevä  $0.01 < p < 0.05$

Tilastollisesti hyvin merkitsevä  $0.001 < p < 0.01$

Tilastollisesti erittäin merkitsevä  $p < 0.001$

Ei tilastollisesti merkitsevä  $p > 0,05$



## **4.2 Koe 2: Murskesäilötyn härkäpavun säilöntä eri säilöntäaineilla**

### **4.2.1 Raaka-aineen tuotanto ja esikäsittely ennen säilöntää**

Härkäpavut kylvettiin 2.6.2015 Hämeen ammattikorkeakoulun Mustialan opetusmaatilan pellolle, jonka maalaji oli multaista hietasavi ( $60^{\circ}48'N$ ,  $023^{\circ}45'E$ ). Härkäpapulajike oli Kontu (Boreal Plant Breeding Ltd., Jokioinen, Suomi), joka ominaisuuksiltaan soveltuu hyvin suomalaisiin viljelyolosuhteisiin puitavaksi aikaisen tuleentumisensa ansiosta. Pelto lannoitettiin tavallisella väkilannoitteella (Yara Mila Pellon Y 3, NPK 23-3-8; Yara Finland, Helsinki) 109 kg/ha sisältäen 25 kg N/ha ennen kylvöä. Kasvinsuojelutoimenpiteitä ei kasvukauden aikana tehty.

Härkäpapakasvusto puitiin leikkuupuimurilla 7.10.2015. Tehoisa lämpösumma oli tuoloin  $1227^{\circ}C_{vrk}$  ja papujen kehitysaste oli osittain tuleentuneita palkoja ja osittain palkoja, joissa pavut olivat vihreitä ja palot osittain tummuneita. Varret ja lehdet olivat kokonaan tummuneita.

Papujen murskaus tehtiin heti puinnin jälkeen valssimyllyllä (Murska MD 700 HD, Aimo Kortteen Konepaja Oy, Ylivieska, Suomi). Murskauksen yhteydessä ei lisätty säilöntäaineita. Murskauksen jälkeen pavut siirrettiin Mustialasta Jokioisiin Luken laboratorioon (säilytyslämpötila  $+2^{\circ}C$ ). Säilöntä tapahtui seuraavana päivänä.

### **4.2.2 Säilöntä**

Murskatuista pavuista otettiin edustava näyte, joka vastasi mahdollisimman hyvin raakaainetta. Raaka-aine punnittiin ja jaettiin laatikoihin siten, että jokaiselle rinnakkaiselle ja käsittelylle tuli oma satunnaisvalittu laatikko. Käsittelyjä oli yhteensä seitsemän (taulukko 7) ja jokaiselle käsittelylle tehtiin kolme rinnakkaissiiloa.

Taulukko 7. Säilöntäaineet

| Käsittely  | Lyhenne            | Annostelu/kg  |
|--|--------------------|---|
| Kontrolli (ilman säilöntäainetta)  | Kontrolli          | Vesi 12,5 ml  |
| Kontrolli + vesi   | Kontrolli+<br>vesi | Vesi 112,5 ml   |
| Maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine<br>(Josilac + Bonsilage)        | LABmix             | 6,25 x 10 <sup>8</sup> pmy/kg 12,5ml:ssa vettä              |
| Maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine<br>(Josilac + Bonsilage) + vesi | LABmix+<br>vesi    | 6,25 x 10 <sup>8</sup> pmy*/kg 112,5ml:ssa vettä            |
| Maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine,<br>Lukun laboratorio           | LABLuke            | 10 <sup>9</sup> pmy/kg säilöntäainetta 12,5<br>ml:ssa vettä |
| Muurahaishappopohjainen säilöntäaine                                     | FA                 | 6 l/tonni* 12,5 ml:ssa vettä                                |
| Antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine                                  | AKS                | 4 l/tonni* 12,5 ml:ssa vettä                                |

\*Kaupallinen käyttösuositus

LABmix oli yhdistelmä kahta kaupallista säilöntäainetta, joita molempia lisättiin seokseen puolet suositellusta käyttöannoksesta. Käytetyt säilöntäaineet olivat Josilac® Classic (Josera Kleinheubach, Saksa; *L. Plantarum* ja *Pediococcus acidilactici* 1,0 x 10<sup>11</sup> pmy/g, ksylynaasi, joka oli peräisin *Trichoderma longibrachiatum* -sienestä, aktiivisuus > 43 000 mikrobia/g) sekä Bonsilage (Schaumann, Pinneberg, Saksa, *L. Plantarum*, *L. Paracasei*, *L. Buchneri* ja *L. Lactis* 1,25 x 10<sup>11</sup> pmy/g). Lisäksi käytettiin Lukun Jokioisten laboratoriossa valmistettua *L. Plantarum* -bakteeria sisältävää maitohappobakteeriympästä. Kemiallisina säilöntäaineina käytettiin muurahaishappopohjaista tuotetta (AIV2 Plus, Eastman Chemical Company, Oulu, Suomi, Muurahaishappo 76 % ja ammoniumformiaatti 5,5 %) sekä antimikrobista kemiallista säilöntäainetta AKS (natriumnitriittisuola) (SafeSil, Salinity Agro, Västra Frölunda, Ruotsi; 200g/l natriumbentsoaattia, 100g/l kaliumsorbaattia ja 50 g/l natriumnitriittiä). Säilöntäaineisiin lisättiin vettä siten, että siiloihin lisätyn nesteen määrä oli vakio. Kontrollikäsittelylle ja LABmix -siiloille valmistettiin lisäksi verrokiksiilot, joihin lisättiin 100 ml vettä, jolloin voitiin tutkia kuiva-ainepitoisuuden vaikutusta säilönnän onnistumiseen.

Laatikoissa oleviin raaka-aineisiin lisättiin säilöntäaine ja raaka-aine sekoitettiin huolellisesti säilöntäaineen tasaisen levittymisen varmistamiseksi. Jokaisesta raaka-ainelaatikosta täytettiin yksi 5,5 litran siilo. Siiloon lisättiin kuivempaa härkäpapumursketta 4300

g ja määrempää (vesilisäys) 4800 g. Siilot olivat lieriön mallisia pleksimuovista valmistettuja tiiviitä pystysiiloja.

Siiloja täytettäessä raaka-aine tiivistettiin, jonka jälkeen siilot punnittiin ja suljettiin. Siilon yläosaan asetettiin lyijystä ja vesipusseista valmistetut painot, jotka pitivät rehun tiiviinä säilytyksen ajan. Siilot säilytettiin ilmatiiviisti huoneenlämmössä valolta suojattuna siilojen avaukseen asti. Puristenesteitä ei päästetty pois siiloista eikä sitä silmämääräisesti arvioituna muodostunut ollenkaan.

#### 4.2.3 Kemiallinen ja mikrobiologinen analyysi ja aerobinen stabiilisuus

Rehuraaka-ainetta säilöttiin siiloissa 106 päivän ajan, jonka jälkeen siilot punnittiin, tyhjennettiin ja otettiin analyysinäytteet. Pinnassa ollut pilaantunut osa rehusta poistettiin ennen rehun sekoitusta näytteenottoa varten.

Kuiva-ainepitoisuus määritettiin raaka-aineesta ja säilönnän jälkeen otetuista näytteistä kuivaamalla näytettä 105 °C:ssa 16 tuntia. Näytteet pakkaskuivattiin analyysia varten (Christ Gamma 2–20, säätimellä LMC–2, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Saksa. Kuivausaika 3–4 päivää alkaen – 25 °C, 0,370 mbar). Näytteistä analysoitiin tuhka (AOAC 1990, menetelmä 942,05), typpi (N) (Dumas AOAC 968,06, Leco FP 428 typpianalysaattori) (raakavalkuaispitoisuus laskettiin  $6,25 \times N$ -pitoisuus), NDF (Van Soest ym. 1991), tärkkelys (Salo ja Salmi 1968) ja puskurikapasiteetti (Weissbach ym. 1974). Säilötyistä papumurskeista valmistettiin seosrehu, jonka nurmis-äilörehukomponentin sulavuus määritettiin Nousiaisen ym. (2003) kuvailemalla tavalla perustuen pepsiini-sellulaasi liukoisuuteen *in vitro*. Liukoisuudet muutettiin vastaamaan Huhtasen ym. (2006) kuvailemalla tavalla *in vivo* -sulavuuksia.

Säilötyistä pavuista analysoitiin haituvat rasvahapot (VFA) (Huhtanen ym. 1998), maitohappo (Haacker ym. 1983), ammoniakki (McCullough 1967) ja etanoli spektrofotometrillä (R-Biopharm, Cat. No. 10 176 290 035, Boehringer Mannheim GmbH, Saksa, valmistajan ohjeen mukaan UV-menetelmällä).

Mikrobiologista analyysia varten tuoreesta ja murskesäilötystä härkäpavusta valmistetut rinnakkaisnäytteet (25 g) punnittiin stomacher-pusseihin. Näytteisiin sekoitettiin 225 ml ¼-vahvuista Ringer-liuosta (Merck 1.15525.0001). Näytteet tasalaatuistettiin stomacherilla (Stomacher® 400 Circulator, 2 min, 230 rpm).

Tuoreen ja säilötyn härkäpapumurskeen hiivat ja homeet määritettiin DRBC:llä (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar medium, Difco 258710), johon lisättiin 50 µg ml<sup>-1</sup> oksytetrasykliinihydrokloridia (AppliChem BioChemica A5257). Petrimaljat säilytettiin lämpökaapissa 25 ± 1 °C. Kasvustot laskettiin kolmantena ja viidentenä päivänä säilytyksen aloituksesta. Maitohappobakteerit (LAB) määritettiin MRS Agar:lla (Lactobacilli MRS Broth, Difco 288130, Bacto Agar 15 g/l, Difco 214010). Astiat säilytettiin anaerobisissa olosuhteissa + 30 °C lämpötilassa 72 tunnin ajan.

Tuoreen ja säilötyn härkäpapumurskeen visiini- ja konvisiinipitoisuudet määritettiin tehokkaalla DAD nestekromatografilla (diode array detection HPLC–DAD) perustuen muunneltuun Quemenerin (1988) menetelmään. Hellströmin ja Mattilan (2008) kuvailemalla tiolyysimenetelmällä määritettiin muunnellulla menetelmällä lisäksi tanniinit (proantosyanidi), polymerisaatioaste (DP), prodelfinidipitoisuus (PD) sekä prosyanidipitoisuus (PC).

Kaikista eri koekäsittelyistä määritettiin aerobinen stabiilius mittaamalla lämpötilan muutosta rehun altistuessa ilmalle huoneenlämmössä. Ennen aerobisen stabiiliuden mittausta osa härkäpapumurskeesta sekoitettiin nurmisäilörehun joukkoon. Lopullinen seos sisälsi 0,5 säilörehua, 0,25 ohraa ja 0,25 kutakin härkäpapukoe-erää kuiva-aineesta. Sekä puh- taista härkäpapunäytteistä, että seosrehusta mitattiin aerobinen stabiilius. Näytteet pun- nittiin ja asetettiin avonaisissa muovipusseissa 2,5 dm<sup>3</sup>:n styrox-laatikoihin. Lämpötila rekisteröitiin 10 minuutin välein lämpötilaa mittaavilla termoparikaapeilla. Aerobinen stabiilius määritettiin siihen pisteeseen, kun rehun lämpötila nousi + 2 °C ympäristön lämpötilan yläpuolelle.

#### 4.2.4 Tulosten tilastollinen analysointi

Tilastollisen analyysin tekoon käytettiin SAS (SAS Inst. INC., Cary, NC). GLM-ohjelmaa.

Testimallina käytettiin kaavaa  $Y_{ij} = \mu + S_i + \varepsilon_{ij}$

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| $Y_{ij}$           | = | havainto  |
| $\mu$              | = | keskiarvo |
| $S_i$              | = | käsittely |
| $\varepsilon_{ij}$ | = | virhe     |

Käsittelyn vaikutukset testattiin varianssianalyysillä ja käsittelyjen eroja verrattiin seuraavilla kontrasteilla:

1. Kontrolli ja LABmix vs. Kontrolli + vesi ja LABmix + vesi
2. Kontrolli ja kontrolli + vesi vs. kaikki muut käsittelyt
3. Kontrolli vs. LABmix ja LABLuke
4. Kontrolli vs. FA ja AKS
5. LABmix ja LABLuke vs. FA ja AKS
6. FA vs. AKS

Tilastolliset merkitsevyydet esitettiin tuloksissa seuraavalla tavalla:

Tilastollisesti merkitsevä  $0,01 < p < 0,05$

Tilastollisesti hyvin merkitsevä  $0,001 < p < 0,01$

Tilastollisesti erittäin merkitsevä  $p < 0,001$

Ei tilastollisesti merkitsevä  $p > 0,05$

## 5 TULOKSET

### 5.1 Koe 1. Korjuuajan määrittäminen ja korjuuajan vaikutus rehuarvoihin

#### 5.1.1 Kasvuston kehitys

Ensimmäisellä näytteenotokerralla 28.7. (56 vuorokautta kylvöstä, kuva 1) papukasvut olivat lehteviä, varsissa oli osittain nappuja ja muutama kukka oli auennut. Fanfare-

ja Pyramid-kasvustoissa kasvuston korkeus oli 90 cm, kun taas Honey-kasvuston korkeus oli n. 65 cm (Taulukko 7). Honey oli selvästi aikaisemmassa kehitysvaiheessa kuin Fanfare ja Pyramid.

Toisella näytteenottokerralla 10.8. (69 vuorokautta kylvöstä, kuva 2) papukasvustot olivat täyden kukinnan vaiheessa ja ensimmäiset palot olivat muodostuneet Fanfare- ja Pyramid-lajikkeiden alimpiin kukintoihin. Osaan paloista oli muodostunut muutama ruskea laikku sinne tänne lehtiin.

Kolmannella näytteenottokerralla 25.8. (84 vuorokautta kylvöstä, kuva 3) lehtien ja palkojen osuus oli jo ohittanut varsien osuuden kasvustojen kuiva-aineesta muiden lajikkeiden kohdalla, paitsi Honeyn, jonka ensimmäiset palot olivat vasta litteitä ja pieniä. Varsien alimmat lehdet olivat lakastuneet tai pudonneet pois.

Neljännellä näytteenottokerralla 8.9. (98 vuorokautta kylvöstä, kuva 4) pavut olivat alkaneet täytyä. Lehdet olivat varisseet palkojen täyttymisen myötä ylimpiä lehtiä lukuun ottamatta ja irtosivat herkästi korjuunäytteen keräyksen aikana. Muutokset näkyivät palkojen osuuden nopeana kasvuna (taulukko 7). Lehtiin oli ilmestynyt runsaasti suklaalaikkua.

Viidennellä näytteenottokerralla 22.9. (112 vuorokautta kylvöstä, kuva 5) papukasvustot olivat edelleen pystyssä, mutta selvästi ränsistyneitä. Valtaosa lehdistä oli varissut maahan ja kasvusto oli varsiosista ja jäljellä olevista lehdistä ruskeaa. Palot olivat vihreitä, suurikokoisia ja täyttyneitä.



- Vasemmalla kuva 1. Ensimmäinen korjuukerta 28.7.2015, 56 vrk kylvöstä (C) Kaisa Kuoppala

- Oikealla kuva 2. Toinen korjuukerta 10.8.2015, 69 vrk kylvöstä (C) Kaisa Kuoppala



- Vasemmalla kuva 3. Kolmas korjuukerta 25.8.2015, 84 vrk kylvöstä (C) Kaisa Kuoppala

- Oikealla kuva 4. Neljäs korjuukerta 8.9.2015 98 vrk kylvöstä (C) Kaisa Kuoppala



- Vasemmalla kuva 5. Viides korjuukerta 22.9.2015 112 vrk kylvöstä (C) Kaisa Kuoppala

Kaikkien lajikkeiden varsien, lehtien ja palkojen osuus kasvustosta muuttui saman suuntaisesti kasvukauden edetessä, mutta lajikekohtaiset erot vaikuttivat myös kasvuston kehitykseen (varsien, lehtien ja palkojen osuus kasvustosta, lajikkeen ja korjuun yhdysvaikutus  $p > 0,012$ ). Honeyn kehitys oli hitaampaa muihin lajikkeisiin verrattuna, se kasvatti paksun varren ja varsien osuus kuiva-aineesta oli suuri muihin lajikkeisiin verrattuna. Paltot kehittivät hitaammin, mutta loppukesästä varsien, lehtien ja palkojen osuus oli samalla tasolla muiden lajikkeiden kanssa (Taulukko 7). Honeyn kuiva-ainesato jäi kuitenkin muihin lajikkeisiin verrattuna pienemmäksi.

### 5.1.2 Sääolosuhteet

Käytännössä ongelmaksi muodostuu Suomen usein sateinen ja viilenevä syksy, joka tekee kokoviljasäilörehun korjuusta haastavaa syyssateiden tehdessä pelloista liejuisia. Sateet hankaloittavat korjuuta ja lisäävät korjuu- ja varastointitappioita, sillä kosteus heikentää rehun hygieenistä laatua ja lisää puristenestetappioita. Riskinä on myös työkoneen renkaissa siiloon kulkeutuva maa-aines, joka aiheuttaa virheikäymistä rehussa. Lakoonnutminen hankaloittaa korjuuta. Sade painaa härkäpavun pitkäksi kasvaneet varret lähelle maata, jolloin korjuu ja varastointi hankaloituvat ja rehun hygieeninen laatu kärsii. Rehun kuivattaminen karholla ei onnistu, mikäli sateet ovat jatkuvia ja pelto ei kuivu.

Vuoden 2015 kesä oli alussa lämmin, mutta loppukesää kohden sateet lisääntyivät. Terminen kasvukausi alkoi 8.4.2015 ja päättyi 4.10.2015. Tehoisa lämpösumma oli vuosien 1980–2010 keskiarvon alle koko mittausjakson ajan. Sadesumman kehitys oli keskiarvoa runsaampaa, mutta tasoittui mittausjakson loppua kohden lähelle keskiarvoa. 28.7–12.8. välisenä ajanjaksona oli selvästi vähemmän sateista kuin muuten mittausjakson aikana (Ilmatieteen laitos 2017).

### 5.1.3 Kuiva-ainesato ja kemiallinen koostumus

Härkäpapakasvusto jatkoi kasvuaan koko kasvukauden ajan eri lajikkeiden kasvurytmin ollessa kuitenkin erilainen (yhdysvaikutus  $p = 0,015$ ) (kuvio 1). Palkojen täyttyessä kolmannen näytteenottokerran jälkeen (84 vrk kylvöstä) pituuskasvu hidastui selvästi, mutta kuiva-ainesato jatkoi silti kasvuaan (pituuskasvu, lajikkeen ja korjuun yhdysvaikutus  $p = 0,004$ ). Honeyn kuiva-ainesato jäi pienemmäksi verrattuna Fanfaren ja Pyramidin kuiva-



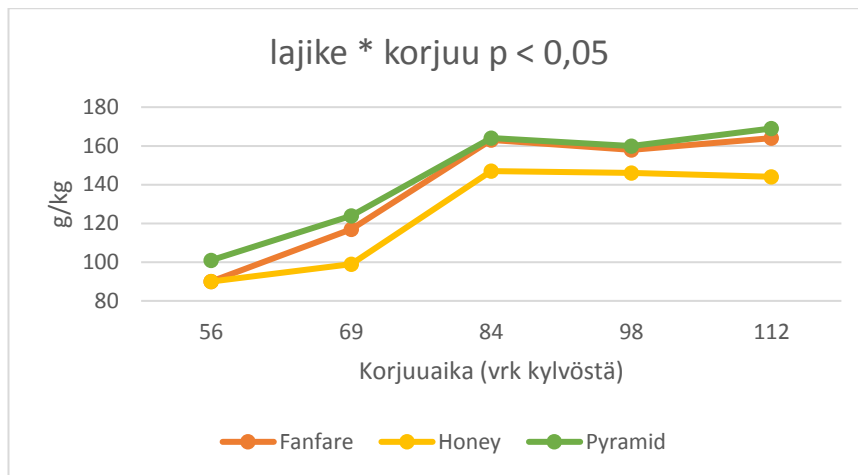
ainesatoihin. Honeyn kuiva-ainesato kehittyi muita lajikkeita hitaammin loppukaudesta. Honeyn kasvuhuippu ajoittui vasta toisen ja kolmannen näytteenottokerran väliin (69–84 vrk kylvöstä), kun Fanfaren ja Pyramidin kuiva-ainesato lisääntyi tasaisemmin ensimmäisestä (56 vrk kylvöstä) näytteenottokerrasta lähtien (kuvio 2) (lajikkeen ja korjuun yhdysvaikutus  $p = 0,051$ ).

Kaikkien lajikkeiden raakavalkuaispitoisuus pieneni kasvukauden edetessä. Lajikkeista Honeyn raakavalkuaispitoisuus pieneni kuitenkin selvästi muita lajikkeita myöhemmin (yhdysvaikutus  $p = 0,001$ ) (kuvio 3). Palkojen täyttyessä valkuaispitoisuus lisääntyi ja oli lopuksi n. 150 g/kg ka. Kaikista lajikkeista Honeyn raakavalkuaispitoisuus oli suurin kasvukauden keskivaiheilla (69–98 vrk kylvöstä), mutta palkojen täyttymisen jälkeen raakavalkuaispitoisuus oli kaikilla lajikkeilla samaa luokkaa. Lajikkeista Fanfaren ja Pyramidin raakavalkuaispitoisuus pieneni 56–98 vrk kylvöstä, jonka jälkeen raakavalkuaispitoisuus lisääntyi jälleen. Honeyn raakavalkuaispitoisuus pieneni muina aikoina kuin 84–98 vrk kylvöstä jolloin raakavalkuaispitoisuus lisääntyi.

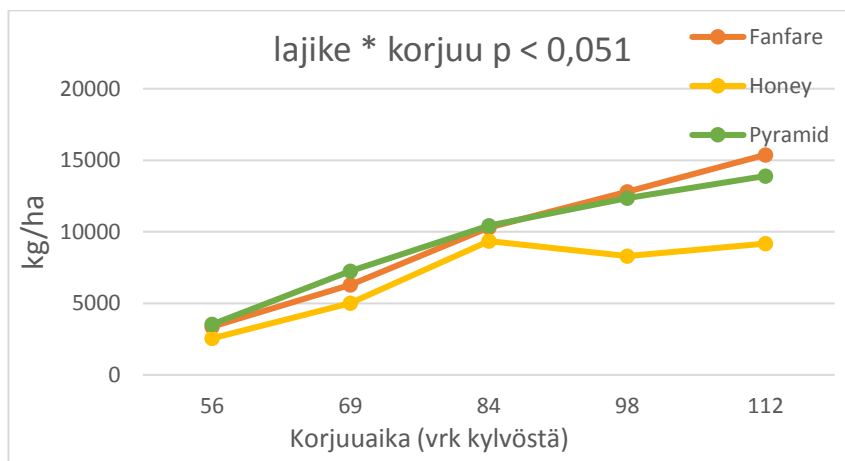
NDF-pitoisuus muuttui kasvukauden aikana vain vähän ja lajikkeiden välinen ero oli pieni (yhdysvaikutus  $p < 0,001$ ) (kuvio 4). Kaikkien lajikkeiden NDF-pitoisuus lisääntyi eniten 56–69 vrk kylvöstä, jonka jälkeen Fanfaren ja Pyramidin NDF-pitoisuus pieneni voimakkaasti ja Honeyn NDF-pitoisuus pieneni muita lajikkeita hitaammin. Honeyn ja Fanfaren NDF-pitoisuus lisääntyi 98 vrk jälkeen ja Pyramidin NDF-pitoisuus laski. Härkäpavun sulamattoman kuidun pitoisuus lisääntyi pituuskasvun myötä. Lajikkeista Honeyn myöhäinen kehitys näkyi sulamattoman kuidun pitoisuudessa, joka lisääntyi myöhemmin kuin muilla lajikkeilla (yhdysvaikutus  $p < 0,001$ ) (kuvio 5). Sulamattoman kuidun pitoisuus lisääntyi 56–69 vrk kylvöstä eniten, jonka jälkeen kaikilla lajikkeilla sulamattoman kuidun pitoisuuden kehitys hidastui tai pysyi samana.

Kasvien tärkkelyspitoisuus lisääntyi kasvuston kehittyessä kaikilla lajikkeilla (yhdysvaikutus  $p < 0,05$ ) (kuvio 6). Kaikilla lajikkeilla tärkkelyspitoisuus lisääntyi tasaisesti 69–84 vrk kylvöstä. Fanfaren tärkkelyspitoisuus lisääntyi tasaisesti koko kasvukauden ajan. Pyramidilla ja Honeylla tärkkelyspitoisuuden kasvu pysähtyi 84–98 vrk kylvöstä, jonka jälkeen tärkkelyspitoisuus lisääntyi jälleen. Honeyn tärkkelyspitoisuus lisääntyi maltillisesti ja Pyramidin tärkkelyspitoisuus lisääntyi voimakkaasti 98–112 vrk kylvöstä.

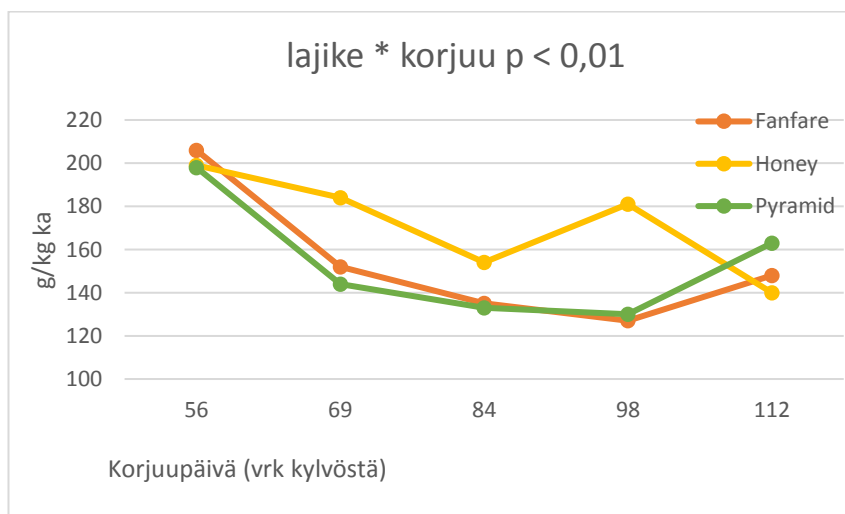
D-arvo oli ensimmäisellä näytteenottokerralla huipussaan ja pieneni voimakkaasti pituuskasvun ollessa voimakkainta 56–69 vrk kylvöstä (lajikkeen ja korjuuajan yhdysvaikutus  $p < 0,01$ ) (kuvio 7). Pituuskasvun hidastuessa D-arvo pysyi lähes muuttumattomana aina viimeisen kasvustonäytteen keruuseen asti. Myöhään kehittyvän Honeyn D-arvo laski hitaammin kuin Pyramidin tai Fanfaren aikavälillä 56–84 vrk kylvöstä. Pyramidin ja Fanfaren D-arvo pieneni 69 vrk kylvöstä, jonka jälkeen D-arvo pysyi näillä lajikkeilla lähes muuttumattomana. Honeyn D-arvo lisääntyi jälleen 98 vrk kylvöstä ja laski viimeisellä näytteenottokerralla uudelleen 112 vrk kylvöstä.



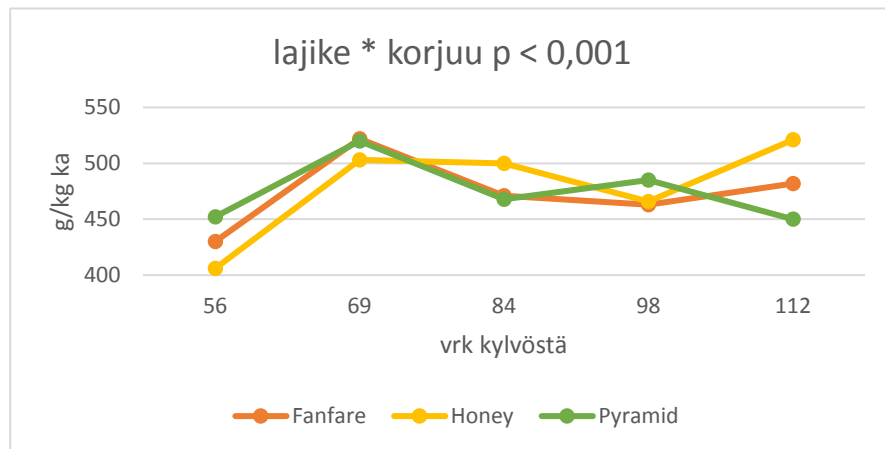
Kuvio 1. Kokovilja-härkäpapukasvuston kuiva-ainepitoisuus (ka) lajikkeittain kasvu-  
kaudella



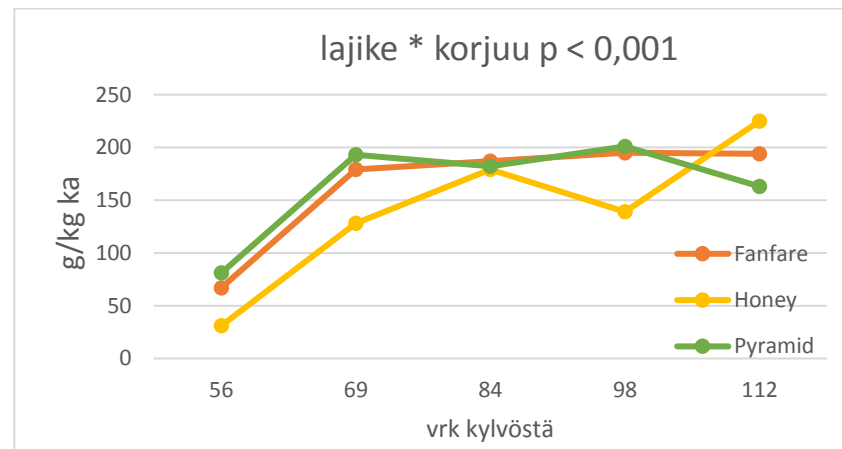
Kuvio 2. Kokovilja-härkäpapukasvuston kuiva-ainesato (kg hehtaarilla, ha) lajikkeittain  
kasvukaudella



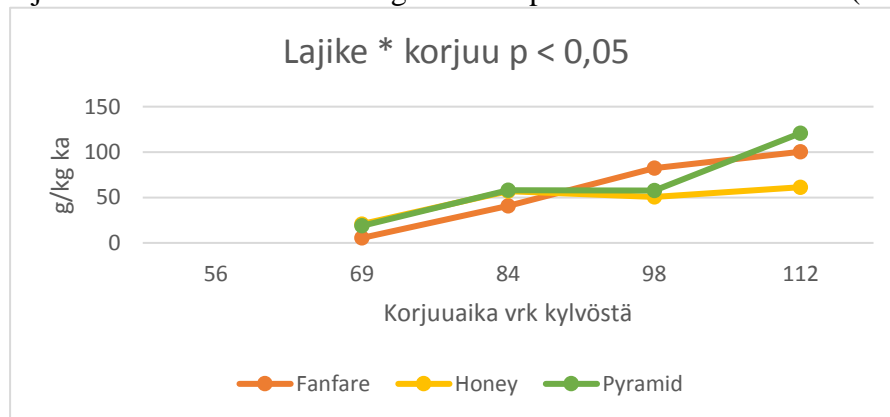
Kuvio 3. Kokovilja-härkäpapukasvuston raakavalkuaispitoisuus g/kg kuiva-aineessa  
(ka) lajikkeittain kasvukaudella



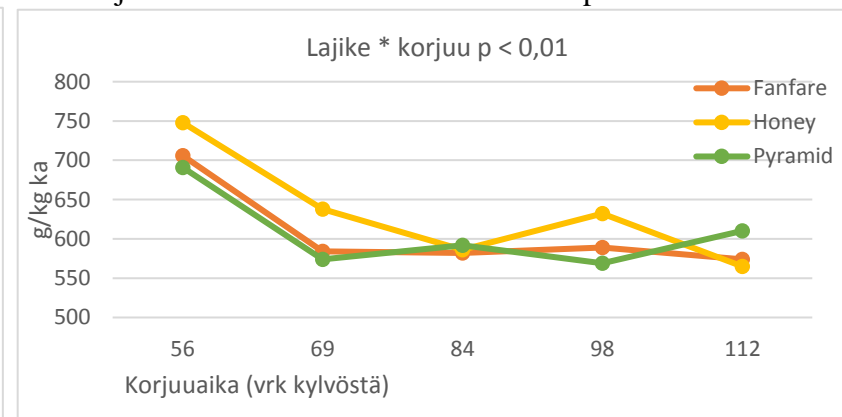
Kuvio 4. Kokoviljahärkäpapukasvuston lajikekohtainen neutraalidetergenttikuitupitoisuus kuiva-aineessa (ka)



Kuvio 5. Kokoviljahärkäpapukasvuston lajikekohtainen sulamattoman kuidun pitoisuus kuiva-aineessa (ka)



Kuvio 6. Kokoviljahärkäpapukasvuston tärkkelyspitoisuus kuiva-aineessa (ka) lajikkeittain



Kuvio 7. Kokoviljahärkäpapukasvuston sulavan orgaanisen aineen (D-arvo) kehitys lajikkeittain

Taulukko 7. Kasvin kehitysvaiheen vaikutus eri härkäpapulajikkeiden kasvustojen kemialliseen koostumukseen (g/kg kuiva-ainetta) ja kuiva-ainesatoon Mustialassa kasvukaudella 2015. korjuupäivät 28.7., 10.8., 25.8., 8.9., 22.9

| vrk               | Fanfare |       |       |       |       | Honey |       |       |       |       | Pyramid |       |       |       |       | SEM   | Tilastollinen merkitsevyys, p |        |        |
|-------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|--------|--------|
|                   | 56      | 69    | 84    | 98    | 112   | 56    | 69    | 84    | 98    | 112   | 56      | 69    | 84    | 98    | 112   |       | lajike*                       |        |        |
| n                 | 4       | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4       | 4     | 4     | 4     | 4     |       |                               |        |        |
| KA, g/kg          | 90      | 117   | 163   | 158   | 164   | 90    | 99    | 147   | 146   | 144   | 101     | 124   | 164   | 160   | 169   | 2,9   | <0,001                        | <0,001 | 0,015  |
| RV, g/kg ka       | 206     | 152   | 135   | 127   | 148   | 199   | 184   | 154   | 181   | 140   | 198     | 144   | 133   | 130   | 163   | 8,2   | 0,002                         | <0,001 | 0,001  |
| NDF, g/kg ka      | 430     | 522   | 471   | 463   | 482   | 406   | 503   | 500   | 466   | 521   | 452     | 520   | 468   | 485   | 450   | 11,4  | 0,601                         | 0,0002 | <0,001 |
| INDF, g/kg ka     | 67      | 179   | 187   | 195   | 194   | 31    | 128   | 179   | 139   | 225   | 81      | 193   | 182   | 201   | 163   | 13,5  | 0,008                         | <0,001 | <0,001 |
| INDF/NDF          | 0,155   | 0,343 | 0,397 | 0,416 | 0,401 | 0,075 | 0,251 | 0,358 | 0,295 | 0,429 | 0,179   | 0,369 | 0,388 | 0,414 | 0,360 | 0,02  | <0,001                        | <0,001 | 0,001  |
| Tärkkelys, g/kg   |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |       |       |       |       |                               |        |        |
| ka                | -       | 5,5   | 40,8  | 82,3  | 100,3 | -     | 20,8  | 56,8  | 50,5  | 61,3  | -       | 18,8  | 58,0  | 57,8  | 120,8 | 11,61 | 0,163                         | 0,0001 | 0,040  |
| D-arvo, g/kg ka   | 706     | 584   | 582   | 589   | 574   | 748   | 638   | 586   | 632   | 565   | 691     | 574   | 592   | 569   | 610   | 13,0  | 0,003                         | <0,001 | 0,003  |
| Sato, t/ha        | 3,37    | 6,28  | 10,30 | 12,80 | 15,38 | 2,55  | 5,02  | 9,35  | 8,31  | 9,17  | 3,53    | 7,26  | 10,44 | 12,35 | 13,90 | 0,903 | <0,001                        | <0,001 | 0,051  |
| Pituus, cm        | 88      | 147   | 169   | 167   | 171   | 65    | 121   | 149   | 151   | 157   | 91      | 145   | 166   | 164   | 167   | 3,3   | <0,001                        | <0,001 | 0,004  |
| Varsien osuus, %  | 59,9    | 61,9  | 48,2  | 42,9  | 38,4  | 56,5  | 58,7  | 59,0  | 57,3  | 40,6  | 60,9    | 64,3  | 53,6  | 42,4  | 36,0  | 2,3   | 0,002                         | <0,001 | <0,001 |
| Lehtien osuus, %  | 40,2    | 37,4  | 27,2  | 16,1  | 13,0  | 43,5  | 41,3  | 32,9  | 18,5  | 9,9   | 39,1    | 32,3  | 40,0  | 16,1  | 11,7  | 1,5   | <0,001                        | <0,001 | 0,012  |
| Palkojen osuus, % | 0       | 0,9   | 24,7  | 40,9  | 48,6  | 0     | 0     | 8,1   | 24,2  | 49,5  | 0       | 3,4   | 22,6  | 41,5  | 52,4  | 1,9   | <0,001                        | <0,001 | <0,001 |

KA – kuiva-aine, RV – raakavalkuainen, NDF – neutraalidetergenttikuitu, iNDF – sulamaton NDF, SEM – keskiarvon keskivirhe

## 5.2 Koe 2. Murskesäilötyn härkäpavun säilönnän onnistuminen eri säilöntäaineilla

### 5.2.1 Raaka-aineen koostumus ennen säilöntää

Taulukossa 8 on esitetty härkäpavun koostumus ja haitta-aineet korjuun ja murskauksen jälkeen ennen säilöntää.

Taulukko 8. Härkäpapumurskeen koostumus ennen säilöntää

| Ominaisuus                              | Arvo |
|---|------|
| Kuiva-aine, g/kg                        | 557  |
| pH                                      | 6,89 |
| Puskurikapasiteetti, g maitohappo/100 g | 4,8  |
| Kemiallinen koostumus, g/kg ka          |      |
| Tuhka                                   | 41   |
| Raakavalkuainen                         | 294  |
| Tärkkelys                               | 352  |
| Neutraalidetergenttikuitu               | 189  |
| Haitta-aineet, g/kg ka                  |      |
| Visiini                                 | 9,76 |
| Konvisiini                              | 5,69 |
| Tanniinit                               | 10,9 |
| Tanniinien ominaisuudet                 |      |
| Polymerisaatioaste, %                   | 7,36 |
| Prodelfinidiini, %                      | 69,6 |
| Prosyyanidi, %                          | 30,4 |
| Mikrobit, log pmy/g                     |      |
| Maitohappobakteerit                     | 3,5  |
| Hiivat                                  | 5,3  |
| Homeet                                  | 4,8  |
| Bakteerit yhteensä                      | 7,0  |

pmy – pesäkkeitä muodostava yksikkö

### 5.2.2 Säilönnällinen laatu

#### Vesilisäys

Vesilisäys pienensi rehun kuiva-ainepitoisuutta keskimäärin 49 g/kg ( $p < 0,001$ ) ja laski rehun pH:ta 0,15 yksikköä ( $p < 0,001$ ) (taulukko 9). Veden vaikutuksesta rehun ammoniakkin osuus kokonastypestä lisääntyi keskimäärin 26 %. Myös maitohappo- ja propionihappopitoisuudet lisääntyivät ( $p < 0,001$ ) ja etanolipitoisuus pieneni ( $p < 0,001$ ).

Etikka- ja voihiappopitoisuudet lisääntyivät keskimäärin ( $p < 0,001$ ) vaikutuksen esiintyessä kuitenkin vain kontrollirehussa ei LABmix-rehussa.

### **Säilöntäaineen lisäys**

Säilöntäainekäsittely lisäsi kuiva-ainepitoisuutta keskimäärin 25,7 g/kg ( $p < 0,001$ ) ja laski rehun pH-arvoa keskimäärin 0,76 yksikköä ( $p < 0,001$ ) (Taulukko 9). Maitohappopitoisuus lisääntyi säilöntäainelisäyksellä keskimäärin 8,80 g/kg ka ( $p < 0,001$ ). Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli keskimäärin 67,1 g/kg N ( $p < 0,001$ ) pienempi ja etanolia oli keskimäärin 10,0 g/kg ka vähemmän säilöntäaineella käsitellyssä rehussa kuin kontrollirehussa ( $p < 0,001$ ). Kapronihappopitoisuus lisääntyi ( $p < 0,001$ ), kun taas etikkahappopitoisuus ja propionihappopitoisuus pienenevät ( $p < 0,001$ ) säilöntäainelisäyksen johdosta. Myös valeriaanahappopitoisuus pieneni säilöntäaineella käsitellyissä rehuissa ( $p < 0,01$ ).

### **LAB vs kontrollit**

LAB-käsittely pienensi kuiva-ainepitoisuutta keskimäärin 16,5 g/kg ( $p < 0,001$ ) verrattuna kontrollikäsitelyyn. LAB-käsittely pienensi myös maitohappopitoisuutta ja pH-arvoa ( $p < 0,001$ ) verrattuna ilman säilöntäainetta säilöttyyn rehuun. Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli keskimäärin 53,2 g/kg N pienempi LAB-rehuissa kuin kontrollikäsitellyissä rehuissa ( $p < 0,001$ ). Etanolipitoisuus oli keskimäärin 9,65 g/kg ka pienempi LAB-rehuissa kuin kontrollirehuissa ( $p < 0,001$ ). Etikkahappopitoisuus ja propionihappopitoisuus olivat myös pienempiä LAB-rehuissa kuin kontrollirehuissa ( $p < 0,05$ ). Valeriaanahappopitoisuus ja kapronihappopitoisuus olivat pienemmät LAB-rehuissa kuin kontrollirehuissa ( $p < 0,001$ ).

### **Kemiallinen säilöntäaine vs kontrollit**

Kemiallinen käsittely lisäsi härkäpapumurskeen kuiva-ainepitoisuutta keskimäärin 39,5 g/kg verrattuna kontrollikäsitelyyn ( $p < 0,01$ ). pH-arvo oli pienempi kemiallisesti käsitellyssä rehussa kuin kontrollikäsitellyssä rehussa ( $p < 0,001$ ). Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli keskimäärin 88,0 g/kg N pienempi kemiallisesti käsitellyssä rehussa kuin kontrollikäsitellyssä rehussa ( $p < 0,001$ ). Propionihappopitoisuus oli suurempi ja

etikkahappopitoisuus oli pienempi kemiallisella säilöntäaineella säilöittäessä ( $p < 0,001$ ). Etanolipitoisuus oli keskimäärin 10,6 g/kg ka pienempi ( $p < 0,001$ ) ja maitohappopitoisuus keskimäärin 10,8 g/kg ka pienempi kemiallisella säilöntäaineella säilöittäessä ( $p < 0,01$ ). Isovaleriaanahappopitoisuus oli pienempi kemiallisella säilöntäaineella säilöittäessä ( $p < 0,01$ ).

### **Kemiallinen vs LAB**

Kemiallisilla säilöntäaineilla säilötyissä härkäpapumurskeissa kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 23,0 g/kg pienempi ja pH-arvo oli keskimäärin 0,48 g/kg ka pienempi kuin maitohappobakteeripohjaisilla säilöntäaineella säilötyissä rehuissa ( $p < 0,001$ ). LAB-rehujen ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli keskimäärin 34,8 g/kg N pienempi ja maitohappopitoisuus keskimäärin 32,6 g/kg ka suurempi kuin kemiallisilla säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa ( $p < 0,001$ ). Etikkahappo-, isovaleriaanahappo- ja kapronihappopitoisuudet olivat suuremmat ( $p < 0,001$ ) ja propionihappopitoisuus ( $p < 0,001$ ) ja valeriaanahappopitoisuus ( $p < 0,01$ ) olivat pienemmät LAB-rehuissa kuin kemiallisesti säilötyissä rehuissa.

### **FA vs AKS**

FA-rehussa kuiva-ainepitoisuus, pH-arvo ja propionihappopitoisuus (0,33 g/kg ka) olivat suuremmat kuin AKS-rehussa ( $p < 0,001$ ). FA-rehussa ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli keskimäärin 27,0 g/kg N pienempi kuin AKS-rehussa ( $p < 0,001$ ). Etanolipitoisuus oli keskimäärin 5,80 g/kg ka ( $p < 0,001$ ) ja maitohappopitoisuus 26,5 g/kg ka ( $p < 0,001$ ) pienempi FA-rehussa. Etikkahappopitoisuus ja isovaleriaanahappopitoisuus olivat pienemmät FA-rehussa kuin AKS-rehussa ( $p < 0,001$ ).

### **5.2.3 Rehun haitta-ainepitoisuudet**

#### **Visiini ja konvisiini**

Visiiniä ei havaittu säilönnän jälkeen missään rehussa. Ennen säilöntää rehun visiinipitoisuus oli 9,76 g/kg ka. Säilötyn rehun konvisiinipitoisuus pieneni säilönnän aikana kaikilla käsittelyillä verrattuna lähtötilanteeseen (5,69 g/kg ka) ennen säilöntää. Vesilisäys



pienensi rehun konvisiinipitoisuutta verrattuna kontrollinäytteeseen ( $p < 0,001$ ) (taulukko 10). Säilöntäainekäsitellyn härkäpapumurskeen konvisiinipitoisuus oli suurempi kuin ilman säilöntäainetta säilötyn rehun konvisiinipitoisuus ( $p < 0,001$ ). Konvisiinipitoisuus oli pienempi kontrollikäsitellyssä rehussa kuin kemiallisella säilöntäaineella säilötyssä rehussa ( $p < 0,001$ ). LAB-käsitellyn rehun konvisiinipitoisuus oli pienempi kuin kemiallisella säilöntäaineella säilötyssä rehussa ( $p < 0,001$ ). AKS-käsitellyn rehun konvisiinipitoisuus oli pienempi kuin FA-käsitellyn rehun konvisiinipitoisuus ( $p < 0,001$ ).

### **Tanniinit**

Vesilisäys lisäsi tanniinien pitoisuutta härkäpapumurskeessa ( $p < 0,001$ ) (taulukko 10). Kemiallinen säilöntäaine pienensi rehun tanniinipitoisuutta verrattuna kontrollirehuun ( $p < 0,001$ ) ja kemiallisella säilöntäaineella säilötyssä rehussa oli myös pienempi tanniinipitoisuus kuin LAB-rehussa ( $p < 0,001$ ). AKS-rehussa tanniinipitoisuus oli pienempi kuin FA-rehussa ( $p < 0,001$ ).

### **Polymerisaatioaste, prodelfinidiinipitoisuus ja prosyanidipitoisuus**

Rehun polymerisaatioaste oli suurempi vesilisäyksellä kuin ilman vesilisäystä säilötyissä rehuissa ( $p < 0,001$ ) (taulukko 10). Prodelfinidiinipitoisuus oli pienempi ja prosyanidipitoisuus oli suurempi FA-rehussa kuin AKS-rehussa ( $p < 0,001$ ).

#### **5.2.3 Säilöntätappiot ja aerobinen sabiilisuus**

### **Painohävikki**

Vesilisäys lisäsi kuiva-ainehävikkiä LAB-rehussa ja kuiva-aineen painohävikki oli kontrollirehussa pienempi kuin rehussa, johon oli lisätty vettä ( $p < 0,001$ ) (taulukko 11). Tuorepainohävikki ja kuiva-ainehävikki olivat pienempiä säilöntäaineella säilötyissä rehuissa kuin kontrollirehussa ( $p < 0,001$ ). LAB-rehuissa ja kemiallisella säilöntäaineella säilötyissä rehuissa tuorepainohävikki ja kuiva-ainehävikki olivat pienempiä kuin kontrollirehussa ( $p < 0,001$ ). Kemiallisesti säilötyn rehun kuiva-ainehävikki ja tuorepainohävikki olivat suurempia kuin LAB-rehun kuiva-aine- ja tuorepainohävikit ( $p < 0,001$ ). AKS-rehun kuiva-ainehävikki oli pienempi kuin FA-rehun.

### **Aerobinen stabiilisuus**

Säilöntäaineen lisäys rehuun paransi härkäpapumurskeen aerobista stabiilisuutta verrattuna kontrollirehuun. Härkäpapumurskeen lämpenemisaika oli pidempi säilöntäaineella käsitellyissä rehuissa kuin kontrollirehuissa ( $p < 0,001$ ) (taulukko 11). Kemiallisella säilöntäaineella säilötyissä rehuissa oli pidempi lämpenemisaika kuin kontrollirehussa tai LAB-käsitellyissä rehuissa ( $p < 0,001$ ). AKS-rehun lämpenemisaika oli pidempi kuin FA-rehun lämpenemisaika ( $p < 0,001$ ). Seosrehun lämpenemisaika oli pidempi (keskimäärin 129 h) kuin puhtaan härkäpapumurskeen lämpenemisaika (keskimäärin 95 h) kaikilla muilla käsittelyillä paitsi AKS-rehujen kohdalla. Puhdas härkäpapumurske ei lämmennyt koko mittausjakson aikana AKS-käsittelyllä ja seosrehukin lämpeni vasta 159 h mittauksen aloitusajankohdasta.

Taulukko 9. Eri säilöntäaineilla murskesäilötyn härkäpavun koostumus ja säilönnällinen laatu (g/kg ka, ellei toisin mainita, pois lukien pH-arvo)

|                            | Käsittely |                  |         |                |          |      |      |       | Tilastollinen merkitsevyys, p-arvo |                     |                  |                       |                 |           |
|----------------------------|-----------|------------------|---------|----------------|----------|------|------|-------|------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----------|
|                            | Kontrolli | Kontrolli + vesi | LAB mix | LAB mix + vesi | LAB Luke | FA   | AKS  | SEM   | Vesi                               | Kontrolli vs kaikki | Kontrolli vs LAB | Kontrolli vs kemiall. | LAB vs kemiall. | FA vs AKS |
| Kuiva-aine, ka,            | 552       | 505              | 563     | 512            | 560      | 572  | 564  | 1,0   | <0,001                             | <0,001              | <0,001           | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| pH                         | 5,38      | 5,10             | 4,29    | 4,27           | 4,29     | 4,92 | 4,61 | 0,048 | 0,008                              | <0,001              | <0,001           | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| NH <sub>3</sub> -N, g/kg N | 117       | 154              | 80      | 100            | 67       | 34   | 61   | 1,7   | <0,001                             | <0,001              | <0,001           | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| Etanoli                    | 18,2      | 15,3             | 8,0     | 7,4            | 5,9      | 3,3  | 9,1  | 0,6   | 0,011                              | <0,001              | <0,001           | <0,001                | 0,228           | <0,001    |
| Maitohappo                 | 27,5      | 35,1             | 48,3    | 53,8           | 57,3     | 7,3  | 33,8 | 1,65  | 0,001                              | <0,001              | <0,001           | 0,004                 | <0,001          | <0,001    |
| Etikkahappo                | 7,3       | 10,1             | 7,4     | 6,9            | 5,7      | 1,8  | 7,8  | 0,25  | <0,001                             | <0,001              | <0,038           | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| Propionihappo              | 0,16      | 0,24             | 0,12    | 0,14           | 0,13     | 0,45 | 0,12 | 0,008 | <0,001                             | <0,001              | 0,012            | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| Voihappo                   | 0,34      | 1,48             | 0,07    | 0,07           | 0,07     | 0,09 | 0,09 | 0,119 | <0,001                             | 0,069               | 0,084            | 0,106                 | 0,871           | 0,979     |
| Isovoihappo                | 0         | 0                | 0,01    | 0              | 0        | 0    | 0    | 0,004 | 0,207                              | 0,564               | 0,298            | 1,0                   | 0,207           | 1,0       |
| Valeriaanahappo            | 0,07      | 0,11             | 0,04    | 0              | 0        | 0,06 | 0,05 | 0,001 | 0,827                              | 0,004               | <0,001           | 0,116                 | 0,003           | 0,430     |
| Isovaleriaanahappo         | 0,09      | 0,10             | 0,09    | 0,10           | 0,09     | 0,07 | 0,09 | 0,003 | 0,026                              | 0,076               | 0,597            | 0,0012                | <0,001          | <0,001    |
| Kapronihappo               | 0         | 0                | 0,05    | 0              | 0        | 0    | 0    | 0,004 | <0,001                             | 0,008               | <0,001           | 1,0                   | <0,001          | 1,0       |

LABmix – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine (Josilac+Bonsilage), LABLuke – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine, Luken Laboratorio, Kemiall. – FA+AKS, FA – muurahaishappopohjainen säilöntäaine, AKS – antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine, SEM – keskiarvon keskivirhe

NH<sub>3</sub>-N = ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä

Taulukko 10. Eri säilöntäaineilla säilötyn murskesäilötyn härkäpavun haitta-ainepitoisuudet

|                     | Käsittely   |      |         |        |          |      |      |       | Tilastollinen merkitsevyys, p |                     |                  |                       |                 |           |
|---------------------|-------------|------|---------|--------|----------|------|------|-------|-------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----------|
|                     | Kontrolli + |      |         |        | LAB mix  |      |      |       | Vesi                          | Kaikki vs kontrolli | LAB vs kontrolli | Kemiall. vs kontrolli | LAB vs kemiall. | FA vs AKS |
|                     | Kontrolli   | vesi | LAB mix | + vesi | LAB Luke | FA   | AKS  | SEM   |                               |                     |                  |                       |                 |           |
| Konvisiini, g/kg ka | 0,97        | 0    | 1,00    | 0,40   | 1,25     | 2,32 | 1,34 | 0,070 | <0,001                        | <0,001              | 0,089            | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| Tanniinit, g/kg ka  | 7,6         | 10,3 | 7,1     | 9,4    | 9,3      | 7,2  | 3,5  | 0,36  | <0,001                        | 0,063               | 0,197            | <0,001                | <0,001          | <0,001    |
| Polymerisaatioaste  | 6,6         | 8,4  | 6,5     | 7,3    | 7,3      | 7,6  | 6,9  | 0,23  | <0,001                        | 0,147               | 0,462            | 0,065                 | 0,174           | 0,069     |
| Prodelfinidiinit, % | 31,1        | 27,3 | 31,7    | 30,0   | 28,8     | 30,4 | 36,5 | 0,91  | 0,023                         | 0,526               | 0,500            | 0,063                 | 0,015           | <0,001    |
| Prosyandidit, %     | 68,9        | 73,0 | 68,3    | 70,0   | 71,2     | 69,6 | 63,5 | 0,91  | 0,030                         | 0,526               | 0,500            | 0,623                 | 0,014           | <0,001    |

LABmix – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine (Josilac+Bonsilage), LABLuke – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine, Luken Laboratorio, Kemiall. – FA+AKS, FA – muurahaishappopohjainen säilöntäaine, AKS – antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine, SEM – keskiarvon keskivirhe

Taulukko 11. Fermentaatiotappiot säilönnän aikana sekä eri tavoin säilötyn härkäpapumurskeen aerobinen stabiilius

|                               | Käsittely |                  |         |                |          |       |       |       | Tilastollinen merkitsevyys, p |                     |                  |                |                          |           |    |
|-------------------------------|-----------|------------------|---------|----------------|----------|-------|-------|-------|-------------------------------|---------------------|------------------|----------------|--------------------------|-----------|----|
|                               | Kontrolli | Kontrolli + vesi | LAB mix | LAB mix + vesi | LAB Luke | FA    | AKS   | SEM   | Vesi                          | Kaikki vs kontrolli | LAB vs kontrolli | Vs kont- rolli | Kemiall. vs LAB kemiall. | FA vs AKS | vs |
|                               |           |                  |         |                |          |       |       |       |                               |                     |                  |                |                          |           |    |
| Hävikki säilönnän aikana, %   |           |                  |         |                |          |       |       |       |                               |                     |                  |                |                          |           |    |
| Tuorepaino                    | 2,05      | 1,9              | 1,37    | 1,18           | 1,18     | 0,93  | 1,19  | 0,061 | 0,014                         | <0,001              | <0,001           | <0,001         | 0,003                    | 0,008     |    |
| Kuiva-aine                    | 1,96      | 0,94             | -0,52   | -1,28          | -0,34    | -2,69 | -0,91 | 0,203 | <0,001                        | <0,001              | <0,001           | <0,001         | <0,001                   | <0,001    |    |
| Aerobinen stabiilius, h       |           |                  |         |                |          |       |       |       |                               |                     |                  |                |                          |           |    |
| Härkäpapumurske (Hp)          | 61        | 66               | 79      | 65             | 100      | 83    | 210*  | 8,8   | 0,594                         | <0,001              | 0,021            | <0,001         | <0,001                   | <0,001    |    |
| Hp-murske-säilörehu-viljaseos | 123       | 124              | 146     | 109            | 138      | 107   | 159   | 11,7  | 0,137                         | 0,287               | 0,205            | 0,5            | 0,448                    | 0,007     |    |

LABmix – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine (Josilac+Bonsilage), LABLuke – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine, Luken Laboratorio, Kemiall. – FA+AKS, FA – muurahaishappopohjainen säilöntäaine, AKS – antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine, SEM – keskiarvon keskivirhe, \*210 h oli maksimi mittausaika, jonka aikana näytteen tai ympäröivän alueen lämpötila ei noussut yli 2 asteen raja-arvon yli.

Taulukko 12. Murskesäilötyn härkäpavun mikrobiologinen laatu (taulukko sisältää kaikki rinnakkaisnäytteet eriteltyinä, log pmy/g).

| Käsittely        | Hiivat | Homeet |
|------------------|--------|--------|
| Kontrolli        | 6,1    | <2,0   |
|                  | 4,6    | <2,6   |
|                  | 5      | <2,6   |
| Kontrolli + vesi | 2,4    | 3,3    |
|                  | 4,8    | 3      |
|                  | <2,0   | 3,1    |
| LABmix           | <2,6   | 2,6    |
|                  | 2,9    | 2,4    |
|                  | <2,6   | <3,6   |
| LABmix + vesi    | 3,3    | <2,0   |
|                  | 3,1    | <2,6   |
|                  | 3,9    | <2,6   |
| LAB Luke         | 4,4    | 2,4    |
|                  | 4,4    | <2,6   |
|                  | 4,8    | 2,4    |
| FA               | 5,4    | <2,6   |
|                  | 5,9    | <2,0   |
|                  | 5,5    | <2,0   |
| AKS              | 5,1    | <2,6   |
|                  | 4,9    | 2,7    |
|                  | 5,5    | 2,5    |

pmy – pesäkkeitä muodostava yksikkö, LABmix – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine(Josilac+Bonsilage), LABLuke – maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine, Luken laboratorio, Kemiall. – FA+AKS, FA – muurahaishappopohjainen säilöntäaine, AKS – antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine

Homeiden ja hiivojen pitoisuus rehussa on esitetty taulukossa 12. Kaikista näytteistä ei kyetty määrittämään tarkkoja arvoja ja siksi rinnakkaisnäytteiden arvot on esitetty erillisinä lukuina. Keskiarvojen perusteella paras hygieeninen laatu homeiden ja hiivojen osalta saavutettiin kaupallisella maitohappokäymiseen perustuvalla valmisteella säilöittäessä. Homeiden pitoisuus säilötyssä härkäpapumurskeessa laski kaikilla käsittelyillä ja kontrollilla säilönnän aikana verrattuna raaka-aineen homepitoisuuksiin. Säilöntäaineilla ei ollut suurta vaikutusta homeiden pitoisuuksiin rehussa. Sen sijaan hiivojen pitoisuudet lisääntyivät muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilöittäessä sekä kontrollinäytteessä, johon ei lisätty vettä.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Koe 1. Härkäpapukasvuston kehitys

#### 6.1.1 Kuiva-ainesato

Härkäpavusta tehtävän kokoviljasäilörehun korjuuajkaan vaikuttavia tekijöitä ovat kasvuston kehitysvaiheen lisäksi sääolosuhteet, maaperän ominaisuudet, lajike, kasvitaudit sekä lannoitus. Kasvuston kehitystä mitattiin sadon määrällä, kasvuston koostumuksen ja rehuarvojen kehityksellä sekä kuva- ja kasvustohavainnoilla. Näiden tekijöiden perusteella muodostettiin käsitys kasvuston ihanteellisesta korjuuajasta. Yhtä arvoa katsomalla voidaan saada kokonaisuuteen verrattuna erilainen kuva optimaalisesta korjuuajasta. Eri korjuuaikaa määrittävät tekijät on käyty seuraavassa osiossa läpi yksitellen ja optimaalinen korjuu aika on määritelty näiden osatekijöiden perusteella.

Tämän tutkimuksen perusteella kuiva-ainesadon kannalta optimaalinen korjuu aika oli kasvukauden loppupuolella, kun kasvuston pituuskasvu oli hidastunut ja palot täyttyivät. Kasvukaudella 2015 kuiva-ainesato jatkoi kasvuaan koko mittausjakson ajan, mikä kertoo siitä, että maksimipotentiaaliin ei sadontuottokyvyssä päästy. Kylmyyttä kestävä härkäpapu kannattaa kylvää mahdollisimman aikaisin keväällä, jotta sato ennättää valmistua syksyllä (Laine 2017). Vuosi 2015 oli epäedullinen sadonkehityksen kannalta, sillä härkäpapukasvusto päästiin kylvämään myöhäisen kevään vuoksi vasta kesäkuun puolella. Lyhyestä kasvukaudesta huolimatta härkäpapukasvusto tuotti hyvän kuiva-ainesadon. Kaikilla lajikkeilla päästiin yli vuoden 2017 keskiarvon (7020 kg ka/ha, Luke 2018 c), kun kylvöstä oli kulunut 84 vuorokautta. Kokeen satotulokset olivat koeruuduilta kehikonäytteistä määritettyjä ja siten suuntaa-antavia.

Kylvössä oli ongelmia kylvölaitteen kanssa siemenen suuren koon vuoksi, mistä johtuen kylvötiheys vaihteli. Vaihtelu oli samanlaista kaikkien lajikkeiden kohdalla eikä vaikuta siten vertailuun eri lajikkeiden välillä. Koeruutujen väliin jäävä tila olisi voinut olla vieläkin leveämpi, sillä sitä oli vaikea erottaa kasvuston kehittyessä. Toisaalta järjestely minimoi reunavaikutuksen, kun kasvustot olivat kiinni toisissaan.

Kuiva-ainepitoisuus kasvoi kasvuston kehittyessä. Kuiva-ainepitoisuus ja sen kehitys olivat samaa luokkaa Syrjälä-Qvistin ym. (1984), Faulknerin ym. (1986) ja Fraserin ym. (2001) tutkimuksissa. Ghanbari-Bonjarin ja Leen (2003) ja Pursiaisen (2009) tutkimuksissa kasvuston kuiva-ainepitoisuus vastaavalla korjuuajankohdalla (vrk kylvöstä) oli suurempi kuin tässä kokeessa. Rehutaulukossa (Luke 2018 a) esitetty keskimääräinen kokoviljahärkäpavun kuiva-ainepitoisuus (130 g/kg) saavutettiin 69–84 vrk:n kuluessa kylvöstä. Korjuun ja säilönnän kannalta rehun suuri kosteuspitoisuus hankaloittaa kasvin kuivausta ja lisää puristenesteiden muodostumista säilörehusta. Lämpimän, tuulisen ja kuivan sään aikana esikuivaus onnistuu pellolla, jolloin kasvin kuiva-ainepitoisuus saadaan suuremmaksi ja säilöntä onnistuu paremmin.

Fanfare ja Pyramid ovat ominaisuuksiltaan aikaisemmin tuleentuvia kuin Honey (Honey 9, Fanfare ja Pyramid 7, asteikolla 1 = aikainen, 9 = myöhäinen, numeroiden väli 3 vrk, (PGRO 2014)). Honeyn runko oli vankempi ja se oli selvästi lyhytkasvuisempaa verrattuna Pyramidiin ja Fanfareen. Kokoviljasäilörehuksi viljeltäväksi lajikkeeksi kannattaa valita vehreä lajike, joka tuottaa suuren kuiva-ainesadon. Lyhyt kasvukausi rajoittaa lajikkeiden käyttöä Suomessa. Honeyn kuiva-ainepitoisuus ja kuiva-ainesato jäivät pienemmiksi verrattuna Fanfareen ja Pyramidiin ja tämän perusteella kannattaa valita näistä kolmesta lajikkeesta Fanfare tai Pyramid. Kuiva-ainesadon ja kuiva-ainepitoisuuden lisäksi tulisi kuitenkin tarkastella myös muiden arvojen kehittymistä sekä korjuuolosuhteita.

Suklaalaikkua ilmestyi hitaimmin kehittyvään Honey-lajikkeeseen myöhemmin kuin muihin lajikkeisiin, mutta viimeisellä näytteenottokerralla sitä oli kaikissa kasvustoissa silmämääräisesti saman verran. Olosuhteet eivät olleet otolliset suklaalaikun esiintymiselle. Kesä oli sateinen, mutta ilma oli viileä ja suklaalaikku menestyy parhaiten +20 °C lämpötilassa (Wilson 1937). Harmaahometta ei havaittu kasvustossa, vaikka viimeisellä näytteenottokerralla oli takana pitkä sadekausi ja kasvusto oli pinnalta märkää ja ränsistynyttä, mikä tekee siitä otollisen harmaahomeen esiintymiselle (Deverall ja Wood 1981).

### 6.1.2 Kemiallinen koostumus

Aikavälillä 56–69 vrk kylvöstä kasvuston kemiallisessa koostumuksessa tapahtui paljon muutoksia kasvuston pituuskasvun myötä, kun raakavalkuaispitoisuus pieneni ja NDF-

pitoisuus lisääntyi. Pituuskasvu oli voimakasta kolmanteen näytteenottokertaan saakka. Tämän jälkeen pituuskasvu hidastui ja kemiallisessa koostumuksessa ei tapahtunut korjuun kannalta suuria muutoksia. Luken (2018 a) rehutaulukossa (190 g/kg ka) keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus on suurempi palkojen täyttymisen aikaan kuin tässä kokeessa (130–150 g/kg ka). Myös aikaisemmissa tutkimuksissa raakavalkuaispitoisuus oli suurempi korjuuajankohdan ollessa sama ( $\pm 2$  vrk). Syrjälä-Qvistin ym. (1984) ja Fraserin ym. (2001) korjuuaikakokeissa kokoviljahärkäpavun raakavalkuaispitoisuus laski samansuuntaisesti kuin tässä kokeessa. Raakavalkuaispitoisuus oli suurempi Syrjälä-Qvistin ym. (1984) kokeessa (keskimäärin 197 g/kg ka) kuin tässä kokeessa (167 g/kg ka) 53–83 vrk kylvöstä. Fraserin ym. (2001) kokeessa raakavalkuaispitoisuus oli 69–98 vrk kylvöstä 193 g/kg ka ja tässä kokeessa vastaavalla ajanjaksolla keskimäärin 149 g/kg ka. Ghanbari-Bonjarin ja Leen (2003) ja Pursiaisen ym. (2009) kokeessa raakavalkuaispitoisuus oli suurempi (172 g/kg ka ja 179 g/kg ka) kuin tämän kokeen kaikkien lajikkeiden keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus (160 g/kg ka) 69 vuorokauden kuluttua kylvöstä.

Kuitupitoisuuden kannalta optimaalinen korjuuaika oli 69–98 vrk kylvöstä, kun kuitupitoisuudessa tapahtui vähiten muutosta. Kuitupitoisuuden kannalta ei ollut kuitenkaan suurta merkitystä koska kasvusto korjataan, sillä kuiva-ainesadon ja sääolojen ollessa optimaaliset korjuun kannalta, ei kuitupitoisuus muuttunut paljon. Fraserin ym. (2001) (374 g/kg ka), Pursiaisen ym. (2009) (361 g/kg ka) ja Ghanbari-Bonjarin ja Leen (2003) (339 g/kg ka) kokeissa rehun NDF-pitoisuus oli pienempi kuin tässä kokeessa (476 g/kg ka).

Kasvuston palot kehittyivät kukinnan jälkeen täyteen mittaansa. Kukinta eteni vartta pitkin alhaalta ylös ja alaosan pavut olivat kasvattaneet kokoa, kun kasvuston yläosassa oli vielä kukkia. Päätteetön kasvutapa ja palkojen täyttyminen näkyivät tärkkelyspitoisuuden tasaisena nousuna kasvukauden aikana. Tärkkelystä on pavuissa, joten palkojen kasvaessa kasvaa myös koko kasvuston tärkkelyspitoisuus. Papukasvuston ravintoarvon kannalta on kannattavinta lykätä korjuu riittävän myöhäiseksi ja odottaa, että palot muodostuvat kasvustoon. Fanfaren ja Pyramidin kohdalla oli nähtävissä tärkkelyspitoisuuden kasvu palkojen täyttymisen jälkeen. Honeyn kohdalla ei ollut havaittavissa vielä tärkkelyspitoisuuden voimakasta kasvua viimeisellä näytteenottokerralla. Fraserin ym. (2001) kokeessa tärkkelyspitoisuus oli suurempi (keskimäärin 61 g/kg ka) kuin tässä kokeessa (keskimäärin 43 g/kg ka) aikavälillä 69–98 vrk kylvöstä.



### 6.1.3 Sulavuus

D-arvo ei laskenut merkittävästi kasvukauden edetessä voimakkaimman kukintajakson jälkeen, mikä mahdollisti pitkän korjuuajan härkäpapukasvustolle. Taulukkoarvoissa kasvuston eri kehitysvaiheille määritetty keskimääräinen D-arvo laski voimakkaammin kuin tässä kokeessa (täyden kukinnan aikaan 650 g/kg ka, jonka jälkeen D-arvo pienenee 600–560 g/kg ka, Luke 2018 a). Korjuuajankohtaa valitessa pyritään tuottamaan mahdollisimman sulavaa rehua. D-arvo oli suurin koekauden alussa ensimmäisellä näytteenottokerralla, mutta kuiva-ainesato ei ollut vielä riittävän suuri, jotta korjuu olisi ollut tolloin kannattavaa. Tässä kokeessa D-arvo oli toisen ja viidennen korjuukerran välillä matalampi (keskimäärin 591 g/kg ka) kuin ihanteellisen nurmisäilörehun D-arvo (680–700 g/kg ka, Nyholm 2018). Härkäpavun varsiosa sisältää runsaasti kuitua, mikä pienentää rehun sulavuutta etenkin nopean kasvun aikaan (Kuoppala ym. (2014b). Palkojen kasvun ja täytymisen myötä toisen näytteenottokerran jälkeen tärkkelyspitoisuus kasvoi. D-arvoa lisäävä tärkkelyspitoisuuden kasvu ja D-arvoa laskeva iNDF-pitoisuuden kasvu kumosivat toistensa vaikutukset, jolloin rehun D-arvo pysyi muuttumattomana loppukauden (2.–5. näytteenottokerta). Lajikkeista Honey kehittyi hitaimmin ja siksi Honeyn kohdalla D-arvo ei laskenut koejakson alussa yhtä nopeasti kuin muilla lajikkeilla. Lehti-, palko- ja varsiosien suhteet olivat samansuuntaiset tässä kokeessa kuin Kuoppalan ym. (2014b) kokeessa, jossa härkäpapukasvuston palkojen ja lehtien osuus oli 50 % ja varsien osuus 50 % ensimmäisellä näytteenottokerralla. Kolmannella näytteenottokerralla lehtien ja palkojen osuus oli 56 % ja varsien osuus 44 %. Lehtien ja palkojen sulavuus pysyi lähes muuttumattomana, mutta varsiosien sulavuus pieneni ensimmäisen ja kolmannen näytteenottokerran välillä (547 g/kg ka vs 516 g/kg ka), jolloin varsiosien iNDF-pitoisuus kasvoi (Kuoppala ym. 2014b).

## 6.2 Koe 2. Murskesäilötyn härkäpavun säilönnän onnistuminen eri säilöntäaineilla

### 6.2.1 Raaka-aineen koostumus ennen säilöntää

Vuoden 2015 kasvu- ja korjuuolosuhteet eivät olleet suotuisat. Korjuun aikaan pavut olivat tehoisasta lämpösummasta 1227 °Cvrk (jalostajan suositus 1150–1180 °Cvrk) huolimatta tuleentumattomia ja kosteita. Kokeen härkäpavumurske oli kostea tai erittäin kos-

teaa verrattuna muissa säilöntäkokeissa käytettyihin härkäpapumurskeisiin. Eri käsitteilyillä säilöttyjen rehujen kuiva-ainepitoisuus vaihteli 505–572 g/kg. Dewitten ym. (2008), Gefromin ym. (2012) ja O’Kielyn ym. (2014) säilöntäkokeissa härkäpapumurskeen kuiva-ainepitoisuus vaihteli 643–729 g/kg. Tärkkelystä oli vähemmän (352 vs 380 g/kg ka) ja neutraalidetergenttikuitua oli enemmän (189 vs 160 g/kg ka) rehuraaka-aineessa kuin Luken (2018) taulukkoarvoissa. O’Kielyn ym. (2012) kokeessa rehuraaka-aineessa (puitu 199 vrk kylvöstä vs 127 vrk kylvöstä) oli vähemmän tärkkelystä (335 g/kg ka vs 352 g/kg ka) ja raakavalkuaista (255 g/kg ka vs 294 g/kg ka) kuin tämän kokeen rehussa. Gefromin ym. (2012) kokeessa rehun raakavalkuaispitoisuus oli pienempi (282 g/kg ka vs 294 g/kg ka) ja tärkkelyspitoisuus oli suurempi (440 g/kg ka vs 352 g/kg ka) kuin tässä kokeessa.

### 6.2.2 Härkäpapumurskeen käymislaatu

#### Vesilisäys

Vesilisäyksellä papumurskeen kosteuspitoisuus nostettiin kosteasta (ka 552–563 g/kg) erittäin kosteaksi (ka 505–512 g/kg). Tutkimuksessa pystyttiin tutkimaan härkäpapumurskeen kosteuspitoisuuden vaikutusta säilönnän onnistumiseen vain osittain, sillä molemmat tutkitut vaihtoehdot olivat optimia kosteampia. Aikaisemmissa härkäpavun siemenosan säilöntää käsittelevissä tutkimuksissa rehu on ollut kuivempaa (Dewitte ym. 2008, ka 643–646 g/kg, Gefrom ym. 2012, ka 656–661 g/kg, O’Kiely ym. 2014, ka 687–729 g/kg). Mitä kuivempaa rehu tutkimuksissa on ollut, sitä vähemmän rehu on käynyt säilönnän aikana. Vesilisäys lisäsi härkäpavu-vehnä-kokoviljarehun (härkäpavun osuus 80 %) käymisastetta, sillä käymisen lopputuotteiden pitoisuus rehussa lisääntyi (Seppälä ym. 2014). Vesilisäys edisti käymistä, mutta ei ohjannut käymistä oikeaan suuntaan, mikäli maitohappobakteeripohjainen säilöntäaine ei ollut ohjaamassa käymistä. Maitohapposäilötty rehu saattoi hyötyä jossain määrin vesilisäyksestä, kun taas ilman säilöntäainetta säilötyssä rehussa vesilisäys lisäsi virheikäymistä. Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä ja propionihappopitoisuus lisääntyivät vesilisäyksellä, mikä kertoo virheikäymisestä.

Myös murskeviljoilla on havaittavissa samalla tavalla käymisen rajoittumista korkeammilla kuiva-ainepitoisuuksilla. Pieper ym. (2011) säilöivät ruisvehnän, ohran ja vehnän

siemeniä kolmella eri kuiva-ainepitoisuudella (kuiva-ainepitoisuus ennen säilöntää 870–884 g/kg, kuiva rehu 751–757 g/kg, kostea rehu 654–662 g/kg) maitohappobakteerili-säyksellä ja ilman säilöntäainetta. Vesilisäys vaikutti maitohappobakteerin aktiivisuuteen ja käymisen voimakkuuteen ja käyminen oli rajoittunutta kuivassa rehussa kaikilla viljoilla. Eri maitohappobakteerien osmotoleranssia ja sen vaikutusta murskesäilötyn härkävavun säilönnän onnistumiseen tulisi tutkia.

### **Säilöntäaineet vs kontrollikäsittelyt**

Klostridit, enterobakteerit, sekä muut virheikäyvässä rehussa menestyvät mikro-organismit käyttävät hyväkseen rehun ravintoaineita tuottaen lopputuotteena haihtuvia rasvahappoja (voi-happoa, propionihappoa, etikkahappoa) ja hajottamalla tyypellisiä yhdisteitä, jolloin muodostuu ammoniakkia (Kaiser ym. 2004). Käymisaste on sitä suurempi mitä enemmän käymistuotteita rehu sisältää. Suuri haihtuvien rasvahappojen pitoisuus ja ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä kertoo virheikäymisestä.

Eri tahojen määrittelemät säilörehun laatuksiteerit poikkeavat toisistaan eikä murseviljalle ole esitetty omia kriteereitä. Tässä tutkimuksessa on vertailtu Valion Artturianalyyseissä (Nyholm 2018) nurmisäilörehuille määriteltyjä käymislaadun raja-arvoja tämän tutkimuksen tuloksiin. Niiden mukaan murskerehun säilönnällinen laatu (pH, ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä, maitohappo- ja muurahaishappopitoisuus, haihtuvien rasvahappojen pitoisuus) säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa oli hyvä. Eniten virheikäymistä havaittiin arvojen perusteella kontrollinäytteessä ja kontrolli + vesi -näytteessä, joiden säilönnällinen laatu oli muita käsittelyjä huonompi suuremman ammoniakkipitoisuuden perusteella. Kokeessa kontrollinäytteen pH-arvo oli huomattavasti suurempi kuin rehussa, johon oli lisätty säilöntäainetta. Säilöntäaineet laskivat papumurskeen pH-arvoa tässä kokeessa ja muissa murskesäilöntäkokeissa (Dewitte ym. 2008, Gefrom ym. 2012, O’Kiely ym. 2014). Kontrollinäyte ja kontrolli + vesi -näytteiden pH-arvot kohosivat yli viiden, mitä voidaan jo pitää huonon käymislaadun merkinä yhdistettynä muihin säilönnällisen laadun mittareihin (Nyholm 2018).

Jos ammoniakkitypen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) maksimiarvona moitteettomasti säilyneessä rehussa pidetään 40 g/kg N (Nyholm 2018), alittui se ainoastaan FA-käsittelyllä ja hyvänlaatuisen rehun maksimiarvon (70 g/kg N) alle jäivät FA-rehun lisäksi AKS- ja LABluke-rehut.

Kontrollinäytteessä ja kontrolli + vesinäytteessä oli suurimmat pitoisuudet ammoniakkityppeä, kun taas FA-, AKS- ja LABLuke-käsittelyillä ammoniakkitypen osuudet kokonaistypestä olivat pienimmät.

Gefromin ym. (2012) tutkimuksessa tulokset olivat samansuuntaisia. Korkeimmat ammoniakkitypen osuudet olivat kontrollinäytteessä ja alle hyvälaatuisen rehun raja-arvon ( $< 70$  g/kg ka, Nyholm ym. 2018) päästiin muurahaishapposäilötyssä näytteessä. O’Kielyn ym. (2014) tutkimuksessa ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli suurempi säilöittäessä *L. buchneri* -maitohappobakteeriympillä (110 g/kg N) ja *L. plantarum* + *Pediococcus pentosaceus* -maitohappobakteeriympillä (50 g/kg N) kuin ilman säilöntäainetta (30 g/kg N). O’Kielyn ym. (2014) rehu oli kuivaa (ka 687–729 g/kg). Seppälän (2014) säilöntäkokeessa saatiin samansuuntainen tulos härkäpapuvehnäkokoviljalla tehdyssä säilöntäkokeessa, jossa kasvimassat olivat valtaosin (80 %) kokoviljahärkäpapua. Tulokset viittaavat siihen, että säilöntäaineesta on hyötyä härkäpapumurskeen säilönässä hyvää säilönnällistä laatua tavoiteltaessa, erityisesti kun säilörehun kosteuspitoisuus on suuri.

Ilman säilöntäainetta säilötyn härkäpapumurskeen pH-arvo vaihteli aikaisemmissa tutkimuksissa välillä 4,2–5,9 (Dewitte ym. 2008, Gefrom ym. 2012, O’Kiely ym. 2014). Arvot ovat samansuuntaisia kuin tässä kokeessa (5,38), vaikka tämän kokeen härkäpapumurske oli kosteampaa. Tässä kokeessa LAB- ja AKS-käsittelyillä päästiin alle 4,7 pH-arvoon, jota pidetään onnistuneen säilönnän maksimiarvona nurmisäilörehuilla (kun rehun kuiva-ainepitoisuus on 400 g/kg, Nyholm 2018). Suuremmalla kuiva-ainepitoisuudella pH-arvo voi olla suurempi ilman, että käymislaatu on heikentynyt (Nyholm 2018). Tässä kokeessa haihtuvien rasvahappojen pitoisuus oli alle hyvänlaatuisen nurmisäilörehun raja-arvon ( $< 10$  g/kg ka) (Nyholm 2018).

### **Kontrollikäsittely vs. LAB**

Säilöntä perustuu hapettomiin olosuhteisiin ja maitohappokäymiseen (Kaiser ym. 2004). Hapettomat olosuhteet estävät aerobisten bakteerien kasvun ja edistävät rehun hyvää käymistä maitohappobakteerien käyttäessä rehun helposti saatavilla olevia ravintoaineita omaan kasvuunsa ja maitohapon tuottamiseen. Maitohappokäyminen laskee rehun pH:ta

ja virhekäyminen puolestaan nostaa pH-arvoa. pH-arvo oli pienempi maitohappobakteeripohjaisilla säilöntäaineilla säilöittäessä verrattuna kontrollirehuun. Maitohappobakteeriympillä säilötyssä rehussa oli enemmän maitohappoa kuin kontrollinäytteessä, mikä kertoo siitä, että säilöntäaineella käymistä on saatu ohjattua toivottuun suuntaan. Kontrollinäytteessä etikkahappopitoisuus lisääntyi vesilisäyksen myötä, kun taas LABmix-säilötyssä rehussa vesilisäys pienensi etikkahappopitoisuutta, mikä osoittaa sen, että LAB-käsittelyllä voidaan ohjata käymistä oikeaan suuntaan. Maitohappo lisääntyi myös Gefromin ym. (2012) ja O’Kielyn ym. (2014) tutkimuksissa maitohappobakteeripohjaisella käsittelyllä, mistä voidaan vetää johtopäätös, että kasvin luontainen maitohappobakteeriaktiivisuus on yhtenä rajoittavana tekijänä säilönnälliselle laadulle, jolloin LAB-lisäyksestä on hyötyä. Gefromin ym. (2012) kokeessa maitohappobakteerilla säilötyssä rehussa oli vähemmän ammoniakkia, etanolia ja etikkahappoa kuin tämän kokeen LAB-rehuissa, mikä kertoo siitä, että tämän kokeen rehussa oli tapahtunut enemmän virhekäymistä.

### **Kontrolli vs. kemialliset säilöntäaineet**

Käymisen voimakkuutta osoittavat arvot ( $\text{NH}_3\text{-N}$ , etanoli, maitohappo, etikkahappo, haihtuvat rasvahapot) olivat pienemmät kemiallisilla säilöntäaineilla säilötyssä rehussa verrattuna kontrollirehuun, mikä kertoo siitä, että säilöntäaineet olivat rajoittaneet rehun käymistä. Rehun pH-arvo oli kuitenkin suuri happosäilötyksi rehuksi, mikä viittaisi siihen, että käymistä on rajoittanut myös muut tekijät kuin happolisäys. Käymisen rajoittumiseen vaikuttaa myös rehun kuiva-ainepitoisuus. Kaiserin ym. (2004) mukaan kuiva-ainepitoisuuden ollessa korkea, voi rehun pH olla myös korkeampi verrattuna kosteaan rehuun. Dewitten ym. (2008) tutkimuksessa happosäilötyn rehun pH oli pienempi ja O’Kielyn ym. (2014) tutkimuksessa rehun pH oli suurempi kuin tässä kokeessa. Dewitten ym. (2008) tutkimuksessa  $\text{NH}_3\text{-N}$ -osuus ja pH olivat pienemmät happosäilötyssä rehussa kuin ilman säilöntäainetta säilötyssä rehussa, mikä kertoo rajoittuneesta käymisestä. Tulos on samansuuntainen tämän kokeen tulosten kanssa. Pursiaisen (2008) säilöntäkokeessa kokoviljahärkäpapusäilörehun haihtuvien rasvahappojen pitoisuus ylitti rajan 10 g/kg ka. Tulokset olivat samansuuntaisia tässä kokeessa. Pursiaisen (2008) rehuissa haihtuvien rasvahappojen pitoisuudet olivat kauttaaltaan suuremmat kuin tässä kokeessa.

### **LAB vs. kemialliset säilöntäaineet**

Maitohappobakteerisäilötyn härkäpapumurskeen käymisaste oli suurempi kuin kemiallisilla säilöntäaineissasäilötyllä härkäpapumurskeilla, sillä maitohappobakteeriympäristö edistää rehun käymistä, kun taas kemialliset säilöntäaineet rajoittavat sitä. Käymisen lopputuotteita ( $\text{NH}_3\text{-N}$ , maitohappo, haihtuvat rasvahapot) oli enemmän maitohappobakteerilla säilötyssä rehussa kuin kemiallisesti säilötyssä rehussa. O’Kielyn ym. (2014) tutkimuksessa käymisen lopputuotteita oli myös enemmän LAB-rehussa.

### **FA vs. AKS**

Antimikrobisen kemiallisen säilöntäaineen sisältämät vaikuttavat ainesosat (kaliumsorbaatti, natriumbentsoaatti ja natriumnitriitti) estävät haitallisten bakteerien, hiivojen ja homeiden kasvua rehussa, jolloin rehu kestää varastoinnin, ei tuota suurta määrää voihappoa eikä lämpene (Woolfoord ym. 1975). Woolfoordin ym. (1975) mukaan kaliumsorbaatilla on homeiden ja hiivojen sekä itiöbakteerien kasvua ehkäisevä vaikutus, natriumbentsoaatti ehkäisee laajasti mikrobien ja etenkin heterofermentatiivisten maitohappobakteerien tuotantoa alhaisissa pH-arvoissa ja natriumnitriitti hillitsee laajasti mikrobien kasvua etenkin alhaisissa pH-arvoissa, mutta hiivoihin se ei vaikuta yhtä tehokkaasti kuin kaliumsorbaatti ja natriumbentsoaatti.

FA-rehussa oli suurempi kuiva-ainepitoisuus ja pH kuin AKS-rehussa. Huuskosen ym. (2017) tutkimuksessa AKS-säilötty esikuivattu timoteisäilörehu poikkesi happosäilötystä rehusta. Maitohappopitoisuus oli 24 % suurempi AKS-rehussa kuin FA-rehussa, kun tässä kokoeessa vastaava luku oli 78 %. Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli tässä kokeessa AKS-rehussa 44 % suurempi kuin FA-rehussa, kun Huuskosen ym. (2017) kokeessa vastaava ero oli vain 9,5 %. Myös etanolipitoisuus ja etikkahappopitoisuus olivat AKS-rehuissa suuremmat kuin FA-rehuissa molemmissa kokeissa. Huuskosen ym. (2017) kokeessa käsittelyjen erot olivat pienemmät, mutta rehu oli myös kosteampaa (ka 356–371 g/kg) ja raaka-aineena oli nurmi. Käsittelyjen erot viittaavat siihen, että käymistä oli tapahtunut enemmän AKS-rehussa kuin muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilötyssä rehussa. Antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine rajoitti propionihapon pitoisuutta murskesäilötyssä pavussa ja AKS-säilötty härkäpapumurske pysyi stabiilimpana pidempään kuin happosäilötty rehu.

### 6.2.3 Rehun haitta-ainepitoisuudet

Härkäpapumurskeessa havaittiin visiiniä ja konvisiiniä ennen säilöntää ja pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmissa kokeissa (Duc ym. 1999, visiini 0,2–10,4 g/kg ka, konvisiini 0,1–4,3 g/kg ka, Rossana ym. 2015, visiini 11,46 g/kg ka, konvisiini 6,24 g/kg ka, tanniinit 27,10 g/kg ka). Säilönnän jälkeen visiini oli hajonnut härkäpapumurskeesta ja konvisiinipitoisuus oli selvästi pienentynyt. Visiini- ja konvisiinipitoisuudet pienenevät säilöntäprosessin seurauksena kaikilla käsittelyillä sekä kontrollinäytteessä että kontrolli + vesinäytteessä. Rossanan ym. (2015) tulokset olivat samansuuntaisia (LAB-rehun visiinipitoisuus 0,67 g/kg ka ja konvisiinipitoisuus 0,56 g/kg ka säilönnän jälkeen). Mikrobifermentaatiota kiihdyttävät toimenpiteet, etenkin veden lisäys, pienensivät konvisiinipitoisuutta, kun taas kemialliset säilöntäaineet rajoittivat käymistä, jonka seurauksena myös konvisiinipitoisuus jäi suuremmaksi vaikkakin pieneni selvästi lähtötilanteesta. Maitohappobakteeripohjaisilla rehuilla säilöittäessä konvisiinipitoisuus oli pienempi kuin kemiallisesti säilötyillä rehuilla.

Säilönnän vaikutukset tanniinipitoisuuteen olivat pienempiä kuin visiini- ja konvisiinipitoisuuteen. Tanniinipitoisuutta säilönnän aikana pienensi eniten AKS-käsittely. Vesiliäyksellä (kontrolli + vesi ja LABmix + vesi) sekä LABLuke-käsittelyllä tanniinipitoisuus pysyi samalla tasolla tai lisääntyi verrattuna tanniinipitoisuuteen ennen säilöntää. Tämä tulos on eriävä Gefromin ym. (2012) ja Rossanan ym. (2015) (tanniinipitoisuus 13,71 g/kg ka LAB-rehussa käsittelyn jälkeen) tutkimuksen kanssa, jossa tanniinipitoisuus ja kondensoituneiden tanniinien pitoisuus rehussa pieneni maitohappokäsittelyn seurauksena. Rehun käymisasteen lisääntyessä käymisen lopputuotteena muodostui vettä ja kaasumaisia yhdisteitä, jonka seurauksena rehun kuiva-aineessa olevien yhdisteiden pitoisuudet muuttuivat toisiinsa nähden. Tämä saattaisi selittää miksi tanniinipitoisuus lisääntyi lähtötilanteesta osassa käsittelyjä. FA- ja AKS-rehut sisälsivät vähemmän tanniineja kuin LAB-rehut, joiden käyminen on voimakasta ja käymistuotteita syntyi enemmän. Kontrollirehuissa puolestaan anaerobiset bakteerit ovat olleet mahdollisesti tanniinien pilkkomiseen kyeneviä mikrobeja, joiden toiminta on rajoittunutta LAB-rehuissa, jolloin tanniinipitoisuus ei pienentynyt LAB-käsittelyllä.

Prodelfinidiinipitoisuus puolittui säilönnän aikana kontrollikäsittelyllä verrattuna tilanteeseen ennen säilöntää. Prosyaniidiinipitoisuus lisääntyi kaikilla käsittelyillä ja kontrollinäytteissä säilönnän aikana. Prodelfinidiinipitoisuuteen ja prosyaniidiinipitoisuuteen vaikuttivat vesilisäys ja härkäpapumurskeen käymisreaktio. Prodelfinidiinipitoisuus lisääntyi käymisaktiivisuuden mukaan ja prosyaniidipitoisuus puolestaan pieneni. Polyme-risaatioaste lisääntyi vesilisäyksellä. Prodelfinidiinien ja prosyanidien suhteelliseen osuuteen rehussa voidaan vaikuttaa oletettavasti käymisasteen avulla. Prosyanidien osuus lisääntyy rehun kosteuspitoisuuden lisääntyessä. Säilönnästä voi olla hyötyä, mikäli tavoitellaan prosyanidien lisääntymisen avulla saatavia hyötyjä, kuten antioksidatiivista vaikutusta (Ghiselli ym. 1998), mutta toisaalta lipaasin toiminnan estäminen ja triglyseridien imeytymisen heikkeneminen aiheuttavat ongelmia etenkin yksimahaisilla (Sugiyama ym. 2007).

#### 6.2.4 Säilöntätappiot ja aerobinen stabiilisuus

Säilöntätappioita selittävät käymisen ansiosta härkäpavun ravintoaineita käyttävät mikrobit, homeet ja hiivat, jotka aiheuttavat painohävikkiä ravintoaineiden muuttaessa olo-muotoaan. Varmin tapa ehkäistä käymistappioita on rajoittaa rehun käymistä. Murskesäilötyn härkäpavun siemenosan säilöntätappioista on vähän tutkimustietoa saatavilla, kun taas kokoviljahärkäpavun säilöntää on tutkittu enemmän. O’Kielyn ym. (2014) tutkimuksessa säilönnällistä laatua kuvaavat arvot viittaavat siihen, että ilman säilöntäainetta säilötyn härkäpapumurskeen käyminen on ollut rajoittunutta, kun taas tässä kokeessa ilman säilöntäainetta säilötty härkäpapumurske oli käyneempää kuin rehut, joihin oli lisätty säilöntäainetta. O’Kielyn ym. (2014) rehuraaka-aine oli kuivempaa kuin tässä kokeessa, mikä voisi selittää miksi käymislaatu eroaa kokeiden välillä. Pursiaisen ja Tuorin (2008) säilöntäkokeessa haposäilötyn kokoviljahärkäpavun säilöntätappiot olivat pienemmät verrattuna ilman säilöntäainetta säilöttyyn rehuun ja LAB-rehun fermentaatiotappiot olivat pienemmät kuin FA-rehun säilöntätappiot.

Tässä kokeessa ilman säilöntäainetta säilötty rehu oli käyneempää kuin säilöntäaineella säilötty rehu ja näin ollen käymistappiot olivat suuremmat ilman säilöntäainetta säilötyssä rehussa. Kontrollirehussa valtamikrobina ei ollut homofermentatiivinen maitohappobak-



teeri, vaan käymisprosessiin osallistui erilaisia mikro-organismeja, jotka käyttivät hyödykseen eri raaka-aineita. Maitohappopohjaisella säilöntäaineella säilötyssä käymistappiot olivat pienempiä kuin ilman säilöntäainetta säilötyssä rehussa, mutta suurempia kuin FA-rehussa, mikä kertoo siitä, että ohjaamalla käymisreaktiota maitohappokäymisen suuntaan voidaan myös pienentää käymistappioita.

Säilötyn rehun avaamisen jälkeen rehu altistuu ilmalle ja rehun pilaantuminen käynnistyy. Rehun pilaantuessa aerobiset mikro-organismit käyttävät ravintonaan maitohappoa ja jäännössokereita (Seppälä ym. 2014). Aerobinen stabiilisuus oli heikompaa kontrollinäytteessä verrattuna säilöntäaineilla säilötyihin rehuihin. Kontrollirehun suuri etanolipitoisuus kertoo hiivojen läsnäolosta ja hiivat puolestaan lisäävät rehun lämpenemisherkyyttä (Kung ym. 2003). Happosäilötyn säilörehu-viljaseoksen lisääminen härkäpapumurskeeseen paransi huomattavasti rehun aerobista stabiilisuutta kaikilla muilla rehuilla, paitsi AKS-käsitellyllä rehulla, jonka raja-arvo ylittyi 2 vuorokautta aikaisemmin kuin puhtaalla härkäpapumurskeella. AKS-säilötty härkäpapumurske ei lämmennyt 210 tunnin mittausjakson aikana, mikä kertoo siitä, että säilöntäaine on rajoittanut pilaajamikrobien toimintaa rehussa (Woolfoord ym. 1975). Rehun käsittelyn kannalta ihanteellista olisi, että rehu saadaan mahdollisimman nopeasti siilon avaamisen jälkeen käyttöön. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista. Lypsykarjatiloiilla siilosta otetaan pieniä määriä kerrallaan seosrehuruokintaan ja siilon avattu osa saattaa olla 2–4 vuorokautta altis ilmalle, jolloin rehu on altis myös pilaantumiselle.

### **Homeiden ja hiivojen pitoisuus eri säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa**

Analyysissä ei voitu määrittää hiivojen ja homeiden tarkkoja arvoja, mistä johtuen tilastollista analyysiä ei voitu suorittaa. Siiloja avattaessa havaittiin hometta siilojen pintaosassa ja joissain tapauksissa myös pohjassa. Keskiosissa ei ollut silmin havaittavaa home muodostusta. Vähäisestä homeiden ja hiivojen pitoisuudesta päätellen säilönnän aikana tapahtunut käyminen on ollut anaerobista. Papumurskeen kullanruskea väri oli tummunut härkäpapumurskeelle ominaiseen tapaan säilönnän aikana. Eri säilöntäaineilla säilötyistä rehuista ainoastaan muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella säilötyssä rehussa hiivojen pitoisuus lisääntyi. Maitohappopohjaisilla säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa sekä kontrolli + vesinäytteessä hiivojen pitoisuus laski. Kontrollinäytteessä ja AKS-säilötyssä rehussa hiivojen pitoisuus vaihteli näytteiden välillä. Osassa näytteistä

hiivojen pitoisuus lisääntyi ja osassa laski. Säilöntäprosessi pienensi rehujen homeiden pitoisuutta noin puolella riippumatta siitä mitä säilöntäainetta käytettiin säilömiseen. Myöskään vesilisäyksellä ei ollut vaikutusta homeiden pitoisuuteen. Todennäköisesti osa homeista ei kestänyt hapettomia olosuhteita, vaan ne kuolivat, jolloin muut organismit pystyivät lisääntymään.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

### **Korjuuajan määrittäminen ja korjuuajan vaikutus rehuarvoihin**

Vuonna 2015 optimaalinen korjuuaika oli n. 20.8.–10.9. (n. 80–100 vrk kylvöstä). Tällöin kasvusto oli vielä lehtevää ja vihreää, palot olivat ennättäneet muodostumaan, suklaalaikua oli muodostunut vain vähän eikä kasvusto ollut ehtinyt ränsistymään. D-arvo ei muuttunut palkojen muodostumisen jälkeen (80 vrk kylvöstä) merkittävästi, mikä mahdollisti pitkän korjuuajan. Härkäpavun raakavalkuaispitoisuus laski kasvukauden edetessä ja NDF ja iNDF-pitoisuudet lisääntyivät alkukesästä, mutta aikavälillä 80-100 vrk kylvöstä pitoisuuksien muutokset olivat vähäisiä. Härkäpavun kuiva-ainesato ja tärkkelyspitoisuus kasvoivat kasvukauden edetessä, mutta korjuuta ei kannata jättää myöhään syksyyn, sillä sää rajoittaa Suomen olosuhteissa korjuuta. Härkäpapulajikkeista Fanfare ja Pyramid kehittyivät samaan tahtiin ja soveltuivat hyvin kokoviljahärkäpapuna viljeltäviksi lajikkeiksi Suomen olosuhteissa. Honey oli selvästi myöhäisempi lajike kuin Fanfare ja Pyramid.

### **Murskesäilötyn härkäpavun säilönnän onnistuminen eri säilöntäaineilla**

Säilöntäainelisäys paransi rehun käymislaatua verrattuna kontrollirehuun. Eri säilöntäaineilla voitiin vaikuttaa eri tavalla rehun käymislaatuun. Maitohappobakteeripohjaiset säilöntäaineet edistivät rehun säilönnän aikana tapahtuvaa maitohappokäymistä verrattuna kontrollirehuun tai kemiallisella säilöntäaineella säilöttyyn rehuun. Maitohappobakteerikäymisen aikana muodostui maitohappoa ja rehun pH laski, jonka seurauksena haitallinen mikrobitoiminta estyi. Muurahaishappopohjainen säilöntäaine laski rehun pH:ta ja rajoitti rehun käymistä verrattuna kontrollirehuun tai antimikrobisella kemiallisella säilöntäaineella säilöttyyn rehuun. Antimikrobinen kemiallinen säilöntäaine ohjasi rehun käymistä

homofermentatiiviseen maitohappokäymiseen ja rajoitti bakteerien, homeiden ja hiivojen kasvua rehussa. Vesilisäys kiihdytti käymisreaktiota ja tehosti maitohappobakteerikäymistä, mutta samalla myös virhekäyminen lisääntyi kontrollirehussa.

Mitä voimakkaampaa käyminen oli, sitä voimakkaammin haitallisten aineiden pitoisuudet pienenevät rehussa lähtötilanteeseen verrattuna. Härkäpapumurskeen visiini oli kadonnut kokonaan säilönnän aikana kaikista rehuista. Konvisiinipitoisuus pieneni kaikilla käsittelyillä. Konvisiinipitoisuus pieneni maitohappobakteerisäilöntäainetta käytettäessä, kun säilönnässä oli mukana oikeanlaista mikrobialista aktiivisuutta. Muurahaishappopohjaisella rehulla säilöittäessä käyminen oli rajoittunutta ja konvisiinin hajoamista tapahtui vähiten verrattuna maitohappobakteerilla säilöttyyn rehuun ja ilman säilöntäainetta säilöttyyn rehuun.

Kosteana korjatun härkäpavun murskesäilöntä pienentää rehun haitta-ainepitoisuuksia ja murskesäilöntä mahdollistaa aikaisemman korjuun, jolloin riski korjuutappioille ja virhekäymiselle on pienempi eikä rehua tarvitse kuivata säilyvyyden takaamiseksi.

## 8 KIITOKSET

Haluaisin kiittää opinnäytetyöni ohjaajia yliopistonlehtori Seija Jaakkolaa (Helsingin Yliopisto), dosentti Marketta Rinnettä (Luonnonvarakeskus) sekä erikoistutkija Kaisa Kuoppalaa (Luonnonvarakeskus) suuresta panostuksesta, kannustamisesta ja arvokkaista neuvoista kirjoitustyön aikana. Erityisesti muistelen lämmöllä kesää 2015 Luonnonvarakeskuksella korjuuaikanäytteiden parissa. Kiitokset Luken mukavalle henkilökunnalle, erityisesti Erja Koivuselle ja Taina Jalavalle sekä Hämeen Ammattikorkeakoulun Paula-Marianne Ojaselle ja Katariina Mannille.

Kiitos Hämeen Valkuaisosamiskeskukselle, kiitos Eastman Chemical Company ja Salinity Agro panoksesta säilöntäkokeen toteuttamisessa.

Kiitos esimiehelleni Minna Mäenpäälle (Suomen Hippos ry), joka kannusti ja mahdollisti kirjoitustyön edistymisen. Kiitos myös vanhemmilleni ja ystävilleni tuesta ja kärsivällisyydestä kirjoitustyön aikana.

## LÄHTEET

- Abd El-Hack, M.E., Alagawany, M., Laudadio, V., Demauro, R. & Tufarelli, V. 2017. Dietary inclusion of raw faba bean instead of soybean meal and enzyme supplementation in laying hens: Effect on performance and egg quality. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24: 276–285.
- Alonso, R., Aguirre, A. & Marzo, F. 2000. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68: 159–165.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Inc. Arlington: 1298 s.
- Bahadoran, Z. & Mirmiran, P. 2015. Potential properties of legumes as important functional foods for management of type 2 diabetes: A short review. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* 4: 6–9.
- Borreani, G., Andrea, R. C., Colombini, S., Odoardi, M., Paoletti, R. & Tabacco, E. 2009. Fermentative profiles of field pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and white lupin (*Lupinus albus*) silages as affected by wilting and inoculation. *Animal Feed Science and Technology* 151: 316–323.
- Buron, G. & Gatel, F. 1992. Utilisation de la féverole (*Vicia faba* L.) par la truie en reproduction. *Journées de la Recherche Porcine en France* 24: 187–194.
- D'Mello, J. P. F. 2000. Farm Animal Metabolism and Nutrition. CABI: 43s.
- Deverall, B. J. & Wood, K. S. 1961. Infection of bean plants (*Vicia faba* L.) with *Botrytis cinerea* and *B. fabae*. *Annals of Applied Biology* 49: 461–472.
- Dewitte, K., Latre, J., Wambacq, E. & Haesaert, G. 2008. Culture, harvest and ensiling of some grain legumes. Production of forage crops and climatic changes. 13th International Conference Forage Conservation. Nitra, Slovakia.
- Duc, G., Marget, P., Esnault, R., LeGuen, J., & Bastianelli, D. 1999. Genetic variability for feeding value of faba bean seeds (*Vicia faba* L.): comparative chemical composition of isogenics involving zero-tannin and zero-vicine genes. *Journal of Agricultural Science* 133: 185–196.
- El-Hady, E.A. & Habiba, Abd, R.A. 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm. Wiss, U. Technol.* Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, Suez Canal University, Ismailia 41522, Egypt: 285–293.

- Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2018. Pavut. <https://www.evira.fi/elintarvik-keet/valmistus-ja-myynti/elintarvikkeista-annettavat-tiedot/pakkausmerkinnat/varoitusmerkinnat-ja-kayttoohjeet/pavut/>, viitattu 7.5.2018.
- Faulkner, J.S. 1985. A comparison of faba beans and peas as whole-crop forages. Grass and Forage Science Volume 40: 161–169.
- Fraser, M.D. Fychan, R. & Jones, R. 2001. The effect of harvest date and inoculation on the yield, fermentation characteristics and feeding value of forage pea and field bean silages. Grass and Forage Science 56: 218–230
- Gefrom, A., Ott, E. M., Hoedtke, S. & Zeyner, A. 2012. Effect of ensiling moist field bean (*Vicia faba*), pea (*Pisum sativum*) and lupine (*Lupinus spp.*) grains on the contents of alkaloids, oligosaccharides and tannins. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 97: 1152–1160.
- Ghanbari-Bonjar, A. & Lee, H.C. 2003. Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as a whole-crop forage: effect of harvesttime on forage yield and quality. Grass and Forage Science 58: 28–36.
- Ghiselli, A., Nardini, M., Baldi, A. & Scaccini, C. 1998. Antioxidant Activity of Different Phenolic Fractions Separated from an Italian Red Wine. Journal of Agricultural Food and Chemistry 46: 361–367.
- Guillamón, E., Pedrosa, M. M., Burbano, C. Cuadrado, C., de Cortez Sánchez, M. & Muzquiz, M. 2008. The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. Food Chemistry 107: 68–74.
- Haacker, K., Block, H.J. & Weissbach, F. 1983. Zur kolorimetrischen Milchsäurebestimmung in Silagen mit p-Hydroxydiphenyl. [On the colorimetric determination of lactic acid in silages with p-hydroxydiphenyl]. Archiv für Tierernährung 33: 505–512.
- Hammerstone, J.F., Lazarus, S.A. & Schmitz, H.H. 2000. Procyanidin Content and Variation in Some Commonly Consumed Foods. The Journal of Nutrition 130: 2086–2092.
- Hellström, J. & Mattila, P. 2008. HPLC determination of extractable and unextractable proanthocyanidins in plant materials. Journal of Agriculture and Food Chemistry 56: 7617–7624.
- Heyman, F., Blair, J. E., Persson, L. & Wikström, M. 2013. Root rot of pea and faba bean in southern Sweden caused by *Phytophthora pisi* sp. nov. Plant Disease 97: 461–471.

- Huhtanen, P.J., Blauwiel, R. & Saastamoinen, I. 1998. Effects of intraruminal infusions of propionate and butyrate with two different protein supplements on milk production and blood metabolites in dairy cows receiving grass silage based diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77: 213–222.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J., Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293–323.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758–770.
- Huuskonen, A., Seppälä, A. ja Rinne, M. 2017. Effects of silage additives on intake, gain and carcass traits of growing and finishing dairy bulls fed grass silage and barley grain based ration. *Journal of Agricultural Science* 155: 1342–1352.
- Igbasan, F.A. 1996. The evaluation and enhancement of the nutritive quality of peas (*pisum sativum*) for poultry, University of Manitoba, Department of animal science. 238 s.
- Ilmatieteen laitos. 2017. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvukausi-2015>, viitattu 19.4.2017.
- Kaiser, A.G., Piltz, J.W., Burns, H.M & Griffiths, N.W. 2004. Successfull silage. Topfodder. Dairy Australia and New South Wales Department of primary industries. ISBN 0 7347 1583 5. 420 s.
- Koivunen, E., 2016. Home-grown grain legumes in poultry diets. Väitöskirja, Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos. 59 s. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159663/HOMEGROW.pdf?sequence=1>.
- Kuoppala, K., Lötjönen, T., Saarinen, E., Suomela, R., Hyrkäs, M. & Huuskonen, A. 2014a. Palkokasviviljakasvustojen satoisuus ja rehuarvo, (toim.) Huuskonen A. teoksessa MTT loppuraportti 175, Edistystä luomutuotantoon. 108 s.
- Kuoppala, K., Rinne, M., Lötjönen, T. & Huuskonen, A. 2014b. Palkokasveja sisältävien kokoviljasäilörehujen rehuarvon tarkentaminen ruokinnan optimoimiseksi, (toim.) Huuskonen A. teoksessa MTT loppuraportti 175, Edistystä luomutuotantoon. 108 s.
- Lajolo, F. M. & Genovese, M. I. 2002. Nutritional Significance of Lectins and Ezyme Inhibitors from Legumes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 6592–6598.

- Laine, A. 2017. Härkäpavun viljely. FutureCrops – Uusia kasvilajeja tuotantoon, tietoa ja elämyksiä kysynnän ja liiketoiminnan tueksi. <https://www.luke.fi/futurecrops/wp-content/uploads/sites/12/2018/02/Harkapavun-viljely.pdf>. Julkaistu 15.3.2017, viitattu 15.5.2018.
- Luke. 2018a. Rehutaulukot. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot>, viitattu 5.5.2018.
- Luke. 2018b. Käytössä oleva maatalousmaa 2017 (ennakko) [http://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2017-ennakko\\_fi](http://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2017-ennakko_fi), viitattu 5.5.2018.
- Luke. 2018c. Tilastotietokanta. [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_02%20Maatalous\\_\\_04%20Tuotanto\\_\\_14%20Satotilasto/01\\_Viljelykasvien\\_sato.px/table/tableViewLayout1/?rxid=cc080a57-f103-497e-9b2e-3cf98999168e](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/table/tableViewLayout1/?rxid=cc080a57-f103-497e-9b2e-3cf98999168e) Viitattu 5.5.2018.
- Manni, K. 2016. Kokemuksia valkuaiskasvien viljelystä ja käytöstä nautojen ruokinnassa. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2016 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 33. Toim. Nina Schulman ja Janne Helin. Viitattu 17.5.2018. Julkaistu 13.1.2016. Saatavilla Internetissä: [www.smts.fi](http://www.smts.fi). Kokemuksia valkuaiskasvien viljelystä ja käytöstä nautojen ruokinnassa. ISBN 978-951-9041-62-9.
- Mariscal-Landin, G. Lebreton, Y. & Seve, B. 2002. Apparent and standardized true ileal digestibility of protein and amino acids from faba bean, lupin and pea, provided as whole seeds, dehulled or extruded in pig diets. *Animal Feed Science and Technology* 97: 183–198.
- Marquardt, R.R., Campbell, L. D. & Ward, T. 1975. Studies with Chicks on the Growth Depressing Factor(s) in Faba Beans (*Vicia faba* L. var. minor) Department of Animal Science, University of Manitoba, Winnipeg. 275–283.
- McMahon, L. R., McAllister, T. A., Berg, B. P., Majak, W., Acharya, S. N., Popp, J. D., Coulman, B. E., Wang, Y. & Cheng, K.-J. 2000. A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation and bloat in grazing cattle. *Canadian Journal of Plant Science* 80: 469–485.



- Nalle, C. L., Ravindran, V. & Ravindran, G. 2010. Nutritional value of faba beans (*Vicia faba* L.) for broilers: Apparent metabolisable energy, ileal amino acid digestibility and production performance. *Animal Feed Science and Technology* 156: 104–111.
- Nopanen. 2014. Härkäpapu sikojen ruokinnassa – valkuaista kotimaasta. <https://etela-savo.proagria.fi/sisalto/3852>, Viitattu 12.3.2018.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M., and Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97–111.
- Nyholm, L. 2018. Säilörehuanalyysin tulkinta. Teoksessa: Toukoluoto, N. & Anttila, A. (toim.) *Maatalouskalenteri 2018*. Pro Agria Keskusten Liitto, s. 220.
- Nykänen, A., Jauhiainen, L. & Rinne, M. 2009. Biomass production and feeding value of whole-crop cereal-legume silages. *Agronomy Research* 7: 684–690.
- O’Kiely, P., Stacey, P. & Hackett, R. 2014. Conserving high moisture spring field bean (*Vicia Faba* L.) grains. *The future of European Grasslands*. *Grassland Science in Europe* 19, EGF at 50: 583–586.
- Ortiz, L. T., Alzueta, C., Trevino, J. & Castano, M. 1994. Effects of faba bean tannins on the growth and histological structure of the intestinal tract and liver of chicks and rats. *British Poultry Science* 35: 743–754.
- PGRO. 2014. PGRO Pulse Agronomy Guide, Processors and Growers Research Organisation, The Research Station, Great North Road. Thornhaugh, Peterborough, PE8 6HJ.
- Peltonen, S. 2017. ProAgrian Kasvintuotannon tulokset 2016 – Viljat selvästi tappiolla, erikoiskasvit ja luomu menestyivät. Pro Agria. <https://www.proagria.fi/ajankohtaista/proagrian-kasvintuotannon-tulokset-2016-viljat-selvasti-tappiolla-erikoiskasvit-ja>. viitattu 18.10.2017.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. MTT Agrifood Research Finland. Plant production research, Jokioinen. *Agricultural and Food Science* 18: 171–190.

- Perttilä, S. 2016. Palkokasvit siipikarjan ruokinnassa – kotimaisia tutkimustuloksia.  
[http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2016/11/Perttila\\_Palkokasvit-sii-pikarjan-ruokinnassa-%E2%80%93-kotimaisia-tutkimustuloksia12122016.pdf](http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2016/11/Perttila_Palkokasvit-sii-pikarjan-ruokinnassa-%E2%80%93-kotimaisia-tutkimustuloksia12122016.pdf).  
 viitattu 18.10.2017.
- Pieper, R., Hackl, W., Kornb, U., Zeyner, A., Souffrant, W.B. & B. Pieper, B. 2011. Effect of ensiling triticale, barley and wheat grains at different moisture content and addition of *Lactobacillus plantarum* (DSMZ 8866 and 8862) on fermentation characteristics and nutrient digestibility in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 164: 96–105.
- Pursiainen, P. & Tuori, M., 2008. Effect of ensiling field bean, field pea and common vetch in different proportions with whole-crop wheat using formic acid or an inoculant on fermentation characteristics. *Grass and Forage Science* 63: 60–78.
- Quemener, B. 1988. Improvements in the high-pressure liquid chromatographic determination of amino sugars and alpha galactosides in faba bean, lupine, and pea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 36: 754–759.
- Reddy, N. R. & Pierson, M.D. 1994. Reduction in antinutritional and toxic components in plant foods by fermentation. *Food research International*: 281–290.
- Rokka, S., Heikkilä, J., Hellström, J., Järvenpää, E., Kahala, M., Keskitalo, M., Kuoppala, K., Manni, K., Mäkinen, K., Mäkinen, S., Pihlava, J-M. ja Tahvonen, R. 2018. Palkokasvit Elintarvikkeena – Opa palkokasvien elintarvikekäyttöön. Luonnonvara ja Biotalous tutkimus 10. Luonnonvarakeskus Luke, Helsinki. 30 s.
- Royer, E., Crepon, K., Granier, R., Peyronnet, C., Vilarino, M. 2010. Incidence du type de féverole et du taux d’incorporation sur les performances de post-sevrage et d’engraissement. *Journées de la recherche Porcine*: 77–84.
- Rubio, L.A. Brenes, A. & Castaño, M. 1989. Histological alterations to the pancreas and the intestinal tract produced by raw faba bean (*Vicia faba* 1. minor) diets in growing chicks. *British Poultry Science* 30: 101–114.
- Salo, M-L. & Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*: 38–45.
- Schubert, S., Schubert, E. & Mengel, K. 1990. Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans (*Vicia faba*). *Plant Nutrition – Physiology and applications*. Kluwer Academic publishers: 443–448.

- Seppälä, A., Kuusisto, K., Mäki, M. & Rinne, M. 2014. Eri säilöntäaineiden soveltuvuus härkäpapuvehnä ja hernevehnäkokoviljojen säilöntään. Edistystä luomutuotantoon. Toim Huuskonen, A. MTT loppuraportti 175: 51–72.
- Sugiyama, H., Akazome, Y., Shoji, T., Yamaguchi, A., Yasue, M., Kanda, T. & Ohitake, Y. 2007. Oligomeric Procyanidins in Apple Polyphenol Are Main Active Components for Inhibition of Pancreatic Lipase and Triglyceride Absorption. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 55: 4604–4609.
- Syrjälä-Qvist, L., Pekkarinen, E. & Setälä, J. 1984. Green Harvested field pea and faba bean, grown alone and with grain, as raw material for silage. Kotieläintieteen laitoksen tiedote No 4. Helsingin Yliopisto, Kotieläintieteen laitos, Helsinki. 55 s.
- Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F. L., Alakukku, L. & Helenius, J. 2014. Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean. *Plant Soil* 374: 89–107.
- Peltonen, S. & Tolonen, K. 2008. Maatilyrityksen ympäristöopas. Tieto tuottamaan 126, (toim.) Tolonen, K. & Harmoinen, T. Pro Agria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja nro 1067: 96 s.
- Valdebouze, P., Bergeron, E., Gaborit, T. & Delort-Laval, J. 1980. Content and distribution of trypsin inhibitors and hemagglutinins in some legume seeds. *Canadian Journal of Plant Science* 60: 695–701.
- Valkuaisfoorumi. 2018.  
<http://www.hamk.fi/tyoelamalle/hankkeet/valkuaisfoorumi/Sivut/hankkeen-kuvaus-ja-tavoitteet.aspx> Hankkeen kuvaus ja tavoitteet, viitattu 11.5.2018.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583–3597.
- Vilariño, M., Métayer, J.P., Crépon, K. & Duc, G. 2009. Effects of varying vicine, convicine and tannin contents of faba bean seeds (*Vicia faba* L.) on nutritional values for broiler chicken. *Animal Feed Science and Technology* 150: 114–121.
- Weissbach, F., Schmidt, L. & Hein, E. 1974. Method of anticipation of the run of fermentation in silage making based on the chemical composition of green fodder. *Proceedings of the 12th International Grassland Congress, Moscow, Russia*. 3: 663–673.

- White, G. A., Smith, L.A., Houdijk, J. G. M., Homer, D., Kyriazakis, I. & Wiseman, J. 2015. Replacement of soya bean meal with peas and faba beans in growing/finishing pig diets: Effect on performance, carcass composition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology* 209: 202–210.
- Wilson, A.R. 1937. The chocolate spot disease of beans (*vicia faba l.*) caused by *botrytis cinerea* pers. *Annals of Applied Biology* 24: 258–288.
- Woolfoord, M.K. 1975. Microbiological Screening of Food Preservatives, Cold Sterilants and Specific Antimicrobial Agents as Potential Silage Additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26: 229–237.
- Zahran, H.H. 1999. Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate, *Microbiology and molecular biology reviews*. *American Society for Biology* 63: 968–989.
- Zamora, A. F. & Fields, M. L. 1979. Nutritive quality of fermented cowpeas (*vigna sinensis*) and chickpeas (*cicer arietinum*), *Journal of Food Science* 44: 234–236.